



LUND
UNIVERSITY

BIM FÖR ANALYS OCH DIMENSIONERING

JOHN ARGÉRUS och PETTER HASSELBERG

Structural
Mechanics

Master's Dissertation

Department of Construction Sciences
Structural Mechanics

ISRN LUTVDG/TVSM--11/5177--SE (1-90)
ISSN 0281-6679

BIM FÖR ANALYS OCH DIMENSIONERING

Master's Dissertation by
JOHN ARGÉRUS och PETTER HASSELBERG

Supervisors

Per-Erik Austrell, PhD,
Div. of Structural Mechanics

Andreas Hägg, MSc,
NCC-teknik, Malmö

Examiner:

Susanne Heyden, PhD,
Div. of Structural Mechanics

Copyright © 2011 by Structural Mechanics, LTH, Sweden.
Printed by Wallin & Dalholm Digital AB, Lund, Sweden, March, 2011 (*PI*).

For information, address:
Division of Structural Mechanics, LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.
Homepage: <http://www.byggmek.lth.se>

Förord

Detta examensarbete genomfördes på NCC Teknik i Malmö i samarbete med avdelningen för byggnadsmekanik vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och genomfördes under perioden september 2010 till januari 2011.

Författarna vill tacka NCC Teknik för den trevliga arbetsmiljön och för all den hjälp som erhållits under arbetets gång. Ett särskilt stort tack riktas till vår handledare Andreas Hägg, konstruktör på NCC Teknik, vars synpunkter och vägledning varit outhärliga för arbetets genomförande. Ett stort tack riktas även till Henrik Böiers och Elof Ljungberg, som tålmodigt har tagit sig tid att svara på frågor om deras arbete med projekteringen av Bjerredsparken.

Författarna vill även tacka handledaren på avdelningen för byggnadsmekanik, Per-Erik Austrell, samt Roger Persson på NCC Teknik för att ni möjliggjort detta examensarbete.

Med detta arbete avslutas våra studier på civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad. Författarna vill härmed tacka alla studiekamrater som gjort studieåren oförglömliga.

Malmö, januari 2011

John Argéus och Petter Hasselberg

Abstract

The deployment of BIM (Building Information Modeling) in the Swedish building industry has begun. A BIM-model, briefly explained, is an object orientated 3D model that contains the available information about a building. Currently it's mostly used for enabling a more effective collision control, quantity takeoff and production of shop and construction drawings. Thanks to its 3D nature it is easier to produce consistent floor plans and sectional drawings and to achieve better collision control.

An important aspect of the BIM model, compared to a pure 3D model, is that it's computable. This aspect is used by NCC today to carry out automated quantity takeoffs. This master thesis focuses on how to use BIM to streamline the design phase of building construction.

To examine how BIM can be used to achieve this goal, a number of BIM-enabled applications are evaluated. Autodesk Revit Structure 2011 is evaluated regarding modeling, storage and transfer of the BIM model. Autodesk Robot Structural Analysis Pro 2011 and Strusoft FEM Design 9.0 are evaluated regarding their integration with Revit Structure.

The result of the evaluation is that it's advantageous to use BIM in the design phase, using software available today. The modeling can be more effective using Revit Structure and the duplicated work of creating separate models for drawings and analysis is mostly avoided. It's easier for the engineer to picture the workings of the structure since it's modeled both physically and analytically in Revit. The outcome of the analysis and design can be incorporated into the Revit model, either manually or automated, and this can result in a better coupling of the analytical model and the one used for producing drawings.

But to fully realize the potential benefits of BIM, the following features should be supported by the software:

- All information required to perform analysis should be storable in the BIM model and transferable to the analysis software.
- All information generated and modified by the analysis software should be transferable and storable in the BIM model.

These features are not yet fully supported by the evaluated set of software. One of the reasons for this is the lack of support for a working standardized and fully open file format that can be used to store and transfer the BIM model.

Sammanfattning

BIM (Building Information Modeling) har börjat användas inom byggindustrin för att förbättra och effektivisera bland annat ritningsframställning, kollisionskontroll och mängdberäkningar. BIM innebär kortfattat att en objektorienterad 3D-modell används för att lagra information om en byggnad. Att modellen är i 3D medför att det blir lättare att uppnå bättre kollisionskontroller och framställa samstämmiga plan- och sektionsritningar.

En viktig egenskap som skiljer BIM-modellen från en ren 3D-modell är att den också är beräkningsbar. Detta innebär att en dator kan tolka och utföra beräkningar på modellen. Denna aspekt utnyttjas i dagsläget av NCC för att utföra automatiserade mängdberäkningar. Detta examensarbete fokuserar på hur BIM-modellens beräkningsbarhet kan utnyttjas för att effektivisera och förbättra dimensioneringsprocessen.

För att ta reda på hur BIM kan användas för att förbättra dimensioneringsprocessen utvärderas några programvaror som finns på marknaden idag och som används, eller finns att tillgå, på NCC Teknik. Autodesk Revit Structure 2011 utvärderas avseende modellering, lagring och överföring av en BIM-modell. Autodesk Robot Structural Analysis Pro 2011 och Strusoft FEM Design 9.0 utvärderas avseende hur de fungerar i samspel med Revits BIM-modell vid dimensionering.

Resultatet av utvärderingen är att det redan idag finns fördelar med att använda en BIM-modell vid dimensionering. Modellering av den bärande stommen kan effektiviseras genom att använda Revit. Konstruktören får en bättre inblick i sin struktur då den modelleras både fysiskt och analytisk i Revit. Arbetet med att skapa två olika modeller kan undvikas genom att modellen som skapas i Revit kan användas för beräkningar och uppdateras utifrån beräkningsprogramornas resultat, antingen manuellt eller automatiserat. Detta ger en bättre koppling mellan beräkningsmodellen och den modell som används för att framställa slutgiltiga ritningar.

För att fullt ut utnyttja fördelarna med BIM under dimensioneringsprocessen är följande egenskaper hos programvarorna nödvändiga:

- All information som behövs för att utföra analyser på byggnaden ska kunna lagras i BIM-modellen och överföras till beräkningsverktygen.
- All information som genereras av beräkningsverktygen ska kunna överföras och lagras i BIM-modellen.

Dessa egenskaper uppfylls i dagsläget inte fullt ut av de utvärderade programvarorna. Ett av skälen är att det saknas utbrett stöd hos programvarorna för ett fungerande standardiserat och öppet filformat för lagring och överföring av BIM-modeller.

Innehåll

Förord	I
Abstract.....	III
Sammanfattning.....	V
1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Metod	2
2. Grundläggande begrepp	3
2.1 Vad är BIM?	3
2.1.1 BIM-modelleringsverktyget Autodesk Revit.....	5
2.2 FEM – En beräkningsmetod inom strukturmekniken	6
2.2.1 Byggbranschens förhållningssätt till FEM.....	7
2.2.2 Utvärderade FEM-programvaror	8
2.3 IFC – ett format för standardiserat utbyte av BIM-modeller	9
2.3.1 De utvärderade programvarornas stöd för IFC	10
3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen	11
3.1 K-projektering i ett sammanhang.....	11
3.1.1 Kunskapsbygget i projektering med 2D-CAD	14
3.1.2 Kunskapsbygget i projektering med BIM	15
3.1.3 Samordning av BIM-modeller	18
3.2 Processmodell för K-projektering.....	20
3.2.1 Konceptuell struktur och uppskattningar	21
3.2.2 Strukturanalys och dimensionering.....	22
3.2.3 Systemhandlingsskede	23
3.2.4 Bygghandlingsskede	24
3.3 Produktivitetseffekter vid K-projektering med BIM.....	25
4. Fallstudie av dimensionering med 2D-CAD som underlag	27
4.1 Metod för fallstudien.....	27
4.2 Projektering av Bjerredsparken - Bakgrund	27
4.3 Redogörelse av dimensioneringsarbetet.....	27
4.4 Identifierade problem och möjligheter vid dimensioneringen	30

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag	32
5.1 Metod och förutsättningar för utvärdering	32
5.2 Introduktion till den analytiska representationen i Revit	33
5.3 Arkitekturtrad Revitmodell som underlag för beräkningar	39
5.3.1 Ideon Gateway – Bakgrund.....	39
5.3.2 Metod 1: Göra A-modellen beräkningsbar.....	39
5.3.3 Metod 2: Göra länkad K-modell beräkningsbar.....	43
5.3.4 Slutsats: Jämförelse mellan Metod 1 och Metod 2	46
5.4 Informationsflöde mellan Revit och beräkningsprogramvaror	47
5.4.1 Exportera Revitmodellen till Robot	47
5.4.2 Hämta/uppdatera Revitmodell från Robot	55
5.4.3 Exportera Revitmodellen till StruSoft 3D Structure	57
5.4.4 Slutsatser och jämförelser gällande export-/importförfarandet.....	61
5.5 Analys och dimensionering i Autodesk Robot SAP	62
5.5.1 Normer som stöds i Robot	63
5.5.2 Laster och lastkombinationer i Robot	64
5.5.3 Finita elementberäkningar i Robot.....	65
5.5.4 Dimensioneringsmoduler i Robot	67
5.6 Analys och dimensionering i FEM Design - 3D Structure	74
6. Slutsats och diskussion	76
6.1 Om författarnas syn på BIM i K-projektering.....	76
6.2 Om branschstandarder för BIM	77
6.3 Autodesk Robot i en BIM-process med Revit	78
6.4 StruSoft 3D Structure i en BIM-process med Revit.....	79
6.5 Projekt Bjerredsparken	79
6.6 Förslag och rekommendation till NCC Teknik.....	80
6.7 Förslag till kommande examensarbete.....	82
Litteraturförteckning	84

1. Introduktion

I denna introduktion presenteras rapportens bakgrund, syfte och mål samt vilken metod som används för att nå målet.

1.1 Bakgrund

År 1452 särskilde renässansarkitekten Leon Battista Alberti arkitektonisk formgivning från hantverk genom att föreslå att formgivningens väsen låg i tankeverksamheten bakom att förmedla linjer på ett papper (1). Idag projekteras en byggnad oftast i CAD-verktyg, där såväl arkitekt-, konstruktörs- och installationsritningar ritas tvådimensionellt. Det som förr arbetades fram med en stadig hand på papper görs idag med datorn som hjälpmedel, men den förmedlade informationen är egentligen densamma - förklarande text till måttsatta linjer på ett papper.

År 1975 formulerade Charles M. Eastman vid Carnegie-Mellonuniversitet ett koncept under prototypnamnet ”Building Description System”. Konceptet innehöll sådana formuleringar som idag innefattas i begreppet BIM (Building Information Model). Eastman beskriver en byggnadsmodell där all information om byggnaden finns lagrad, vilket gör att man på ett automatiserat sätt kan göra kvantitativa analyser direkt utifrån modellen. Idag finns ett antal BIM-programvaror ute på marknaden, där Autodesk Revit, som lanserades 2002, är marknadsledande. (1)

2010 klaggjorde branschtidningen VVS-forum att BIM-tekniken kan spara miljarder i byggsektorn - BIM är nu hett i den svenska byggsektorn, och jättar som NCC och Skanska har infört BIM på bred front (2). NCC:s satsning på BIM går under namnet Virtuellt Byggande. Strategin är att införa BIM i de projekt där NCC själva kan påverka arbetsformen, d.v.s. i totalentreprenader och partneringsprojekt (3). NCC använder i dagsläget BIM till visualisering, samordning och mängdberäkningar. Byggbranschen satsar stort på BIM, där framförallt entreprenörerna går i bräschen för utvecklingen. Många entreprenörer har insett nyttan med BIM i produktionsskedet, och av denna anledning ökar antalet K-projekteringar som skall resultera i en BIM-modell.

Klart är att byggnadsprojekteringen håller på att byta teknisk plattform, från traditionella tvådimensionella CAD till mångdimensionella BIM. Utvecklingen öppnar för nya sätt att arbeta för konstruktören i ett byggprojekt. BIM i K-projektering kan rätt använt innebära att den modell som används för att analysera byggnaden även kan användas för att producera ritningsunderlag.

1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att identifiera och beskriva hur BIM kan förbättra byggnadskonstruktörens arbetssätt och arbetsmetoder. Inom detta syfte ryms en nulägesanalys, i vilken programvaror skall utvärderas för tillämpning i en BIM-process.

Målet med examensarbetet är att, utifrån de utvärderade programvarorna, ge ett förslag till hur NCC Teknik skall använda BIM i analys och dimensioneringsprocessen.

1.3 Metod

Genom en litteraturstudie kartläggs konstruktörens projekteringsprocess med traditionell 2D-CAD. Vidare undersöks vilka kvantitativa och kvalitativa effekter BIM medför i projekteringsprocessen.

För att bilda en uppfattning om hur NCC Teknik arbetar i K-projektering och hur modellerings- och beräkningsprogramvaror används genomförs en fallstudie av K-projekteringen av bostadshuset Bjeredsparken i Lund.

Möjligheterna att skapa analytiska modeller i BIM-verktyget Autodesk Revit Structure 2011 undersöks. Därefter utvärderas två analysverktyg och dess interoperabilitet med Autodesk Revit Structure 2011. Utvärderingen avgränsas till programvarorna Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011 samt StruSoft FEM-Design 9.0 – 3D Structure. Då Autodesk Robot SAP ej används av NCC Teknik i dagsläget genomförs en generell utvärdering av hur programmet fungerar.

Utifrån litteraturstudien, fallstudien och utvärderingen dras slutsatser kring hur NCC Teknik kan förbättra sin projektering utifrån dagens förutsättningar för en BIM-projektering.

2. Grundläggande begrepp

I detta kapitel introduceras läsaren till rapportens ämnesområden. De i rapporten, centrala begreppen BIM, FEM och IFC förklaras överskådligt.

2.1 Vad är BIM?

Det råder en förvirring i byggbranschen om vad BIM egentligen innebär (4). Svaret på frågan beror ofta på vem man frågar. För en beslutsfattare kan BIM vara en visualisering, för en modellsamordnare ett samordningsverktyg och för en kalkylator ett sätt att beräkna mängder. Diskussionen om BIM är ofta förknippad med tillämpningen av 3D-modeller i olika användningsområden.

Vad är BIM? För att finna svaret på frågan kan en snabb presentation av begrepp som enskilt förväxlas med BIM vara på sin plats. Dessa begrepp definierar inte BIM var för sig, men de är avgörande för att förstå vad BIM är:

3D-modellering är, precis som namnet antyder, att modellera en geometri i tre dimensioner. De första CAD-verktygen för att modellera och redigera godtyckliga geometrier i 3D, så kallad solidmodellering, skapades på 1970-talet. CAD-verktyg för byggnadsmodellering i 3D utvecklades under sent 70-tal och tidigt 80-tal. Utifrån produktionsaspekter, såsom funktioner för ritnings- och beskrivningsframställning, var programmen underutvecklade. CAD-systemen var vid denna tidpunkt mycket dyra och krävde, i den tidens mått, extremt mycket datorkraft. 3D-modellering var vid denna tid konceptuellt för byggbranschen, som var van att arbeta i 2D. Andra branscher, som den fasta tillverkningsindustrin, såg potentialen i 3D-CAD och arbetade tillsammans med CAD-företagen för att lösa teknologins tidiga brister. Byggbranschen såg däremot inte potentialen i 3D utan satsade istället på 2D-CAD (till exempel AutoCAD och Microstation) som var anpassat till det tidigare sättet att arbeta. (1)

Parametrisk modellering utvecklades på sent 80-tal efter intensivt utvecklingsarbete för modellering av mekaniska system. I traditionella CAD-verktyg måste varje aspekt av en form editeras manuellt av användaren, vilket gör modelleringsprocessen mycket arbetsam. I parametrisk modellering är däremot grundtanken att en godtycklig form definieras och kontrolleras genom ett givet antal hierarkiskt ordnade parametrar. Vissa parametrar är användardefinierade, vissa är fasta värden och vissa parametrar beror på formens kontext. Användardefinierade parametrar kan vara *höjd*, *bredd* eller *djup*. Parametrar som beror på formens kontext kan exempelvis vara av typen *avstånd från*, *parallell med* eller *ansluten till*. (1)

Nedan följer två exempel på hur parametrisk modellering kan fungera (5):

En bjälklagskant är relaterad till en yttervägg, sådan att när väggen flyttas behåller bjälklaget sin anslutning till ytterväggen. Parametern är av typen *ansluten till*.

Armering i en viss elevation är fördelat med ett givet s-avstånd. När elevationens mått ändras behålls armeringens fördelning. Armeringsparametern är i detta fall inte ett nummer utan en armeringsproportion.

Objektorienterad modellering (OOM) betyder att modellen byggs av fördefinierade objekt. Objektorienterad modellering är en vidareutveckling av parametrisk modellering i den meningen att objekt är former med fördefinierade parametrar. I flyg-, tillverknings- och elektronikindustrin är det praxis att företag bygger upp en objekt-databas baserad på design, funktionalitet, hur dess parametrar kan justeras samt diverse produktionskriterier. Objekt-databasen innehåller i denna mening företagets kunskap om vad som fungerar ur design-, produktions-, monterings- och underhålls-synpunkt. (1)

Frågan kvarstår, *vad är BIM?* Svaret är inte uppenbart eftersom det ännu inte finns någon fastslagen och vida accepterad definition av BIM. I den för examensarbetets studerade litteraturen går att finna två olika förklaringar till akronymen BIM: Building Information Model och Building Information Modeling (lägg märke till ing-ändelsen). Är BIM en viss typ av digital modell eller är det själva processen att skapa en modell? Är det en teknik eller en arbetsmetod?

Autodesk definierar BIM som ”3D, objectoriented, AEC-specific CAD” (4). Enligt denna definition är BIM branschspecifik objektorienterad 3D-CAD – ett verktyg för att skapa byggnadsmodeller.

C. Eastman et al. ger en vidare definition av BIM som en modelleringsteknik *och* en uppsättning processverktyg för att producera, kommunicera och analysera byggnadsmodeller (1). Byggnadsmodeller karaktäriseras av:

- Byggnadskomponenter som representeras av objekt
- Byggnadskomponenter har tilldelad data som beskriver hur de beter sig. Dessa data behövs för att analysera BIM-modellen.
- Data ska vara konsekvent och icke-redundant, sådan att ändringar som görs i en komponent bara behöver göras på ett ställe.
- Data som är anknuten till en komponent skall vara koordinerad i komponentens alla vyer.

Följande definition av BIM ges av entreprenadföretaget M.A. Mortenson Company (6). Företaget ser på BIM som en ”intelligent simulering av arkitektur”. Simuleringen måste uppvisa sex egenskaper för att vara en BIM

- Digital
- Spatial (3D)
- Mätbar
- Omfattande (så att den fångar och kommunicerar designavsikt, byggnads-egenskaper, byggbarhet och finansiella aspekter)

2. Grundläggande begrepp

- Tillgänglig (för samverkan mellan olika projektmedlemmar genom ett driftkompatibelt och intuitivt gränssnitt)
- Hållbar (genom alla faser i byggprocessen)

Ur ovanstående definitioner går att utläsa BIM som en modelleringsteknik i meningen att BIM är objektorienterad parametrisk 3D-modellering. BIM är också en arbetsmetod, ett processverktyg, i meningen att byggnadsmodeller ska kunna delas mellan projektmedlemmar på ett effektivt sätt. En BIM-modell skall också vara beräkningsbar och fylld med så mycket information att den kan analyseras i byggprocessens alla faser.

Följande citat är ett utdrag från en definition av BIM som ges i (4). Definitionen är oprecis eftersom den inte ställer krav på hur informationen i en byggnadsmodell skall vara strukturerad. Författarna till denna rapport anser dock att den sammanfattar pretentionerna med BIM på ett bra sätt.

[...] BIM är all information som genereras och förvaltas under en byggnads livscykel strukturerad och representerad med hjälp av (3D) objekt [...]. BIM-modellering är själva processen att generera och förvalta denna information. BIM-verktyg är IT-verktygen som används för att skapa och hantera informationen. BIM är alltså inget verktyg utan ett samlingsbegrepp för hur informations skapas, lagras, används på ett systematiskt och kvalitetssäkrat sätt.

2.1.1 BIM-modelleringsverktyget Autodesk Revit

Revit är idag den marknadsledande BIM-programvaran (1). Det utvecklades av Autodesk Inc.

Programvaran finns i tre versioner:

- Revit Structure - För konstruktörer
- Revit Architecture - För arkitekter
- Revit MEP (Mechanical/Electrical/Plumbing) - För installationsprojektörer.

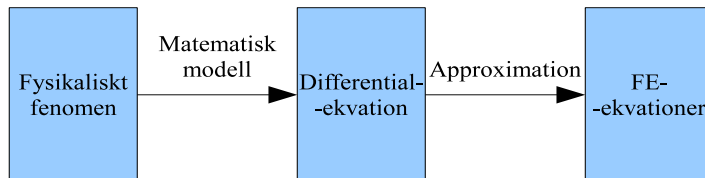
Revit Architectural, Structural och MEP arbetar mot samma underliggande modell. Skillnaden är att de olika versionerna är anpassade för att förenkla presentationen och skapandet av just de aspekter av modellen som är relevant för respektive disciplin. Då detta examensarbete behandlar konstruktörens nytta av BIM, kommer Revit fortsättningsvis underförstått betyda Revit Structure 2011.

Det finns företag som tar fram färdiga Revit-objekt av produkter, som kan importeras och integreras i Revitmodellen (exempelvis CQTools från CAD-Q). Objekten kan, förutom geometri, innehålla data om material, begränsningar för hur de kan modifieras etc.

Revit har stöd för programtillägg (*add-ins*) som används för att utöka funktionaliteten. Programtilläggen har tillgång till den modell som finns öppen i Revit och kan läsa in önskade aspekter av modellen för vidare behandling. Detta utnyttjas för att möjliggöra export till beräkningsprogramvaror. Programtilläggen kan i vissa fall skriva till den öppna modellen vilket bland annat utnyttjas för att importera modeller från beräkningsprogramvaror.

2.2 FEM – En beräkningsmetod inom strukturmekniken

De fysikaliska fenomen som en ingenjör stöter på i strukturmekniken modelleras med differentialekvationer. Dessa blir dock ofta så komplicerade att analytiska lösningsmetoder inte räcker till. Finita elementmetoden är en numerisk metod där differentialekvationer formuleras på ett sådant sätt att de kan lösas approximativt med en dator, se Figur 1 nedan. (7)



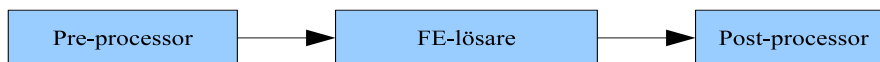
Figur 1: Steg i analys med FEM. (7)

Metoden innebär att dela upp en struktur i ett finit antal element. Det finns tre huvudsakliga elementtyper; balk- (linje), skal- (yta) och solidelement (volym). Inom elementet approximeras differentialekvationen, oftast med ett polynom. Polynomet definieras genom ett antal punkter i elementet, dessa punkter kallas noder. Noderna är placerade på elementens ränder, men ibland också inne i elementet. I FE-formuleringen är värdet på polynomet i elementens noder okända och bildar ett ekvationssystem. Beroende på vilket fysikaliskt fenomen som studeras innehåller varje nod ett antal okända variabler. En variabel i en nod kallas för en frihetsgrad. För att beskriva värmeledning räcker det med en frihetsgrad i varje nod, nämligen temperaturen. För strukturmekaniska problem i 3D, där nodernas rörelse är av intresse, krävs sex frihetsgrader per nod, nämligen tre translationer och tre rotationer.

Ekvationen för att beskriva statiska linjärelastiska problem tar formen:

$$Ka = f$$

K är styvhetsmatrisen och beror på materialegenskaper och elementtyper, a är förskjutningsvektorn innehållande strukturens frihetsgrader och f är kraftvektorn innehållande krafter som verkar på strukturen. För att beskriva storleken på ekvationssystemet anges antalet frihetsgrader i strukturen.



Figur 2: Delar i FEM-programvaror.

FE-programvara delas ofta upp i tre delar, se Figur 2 ovan. I pre-processorn sätts FE-ekvationerna upp. För ändamålet specificeras noder, element, upplag, material och laster. I pre-processorn görs, efter användardefinierade regler, en automatisk elementindelning. Pre-processorn har ofta ett grafiskt gränssnitt, vilket underlättar korrekt datainmatning. Ekvationssystemet löses av FE-lösaren och resultaten åskådliggörs i post-processorn genom diagram, isolinjer etc.

Eftersom FEM innebär en approximation är resultatet av en FEM-beräkning en uppskattning av lösningen till den ursprungliga differentialekvationen. Resultatet blir mer överensstämmande med den verkliga lösningen om strukturen delas in i mindre element alternativt modelleras med elementtyper av högre polynomrang. Båda förfarandena innebär att antalet frihetsgrader ökar i modellen, vilket gör att ekvationssystemet växer. Det krävs ett övervägande om hur noggrant resultat som är nödvändigt för att lösa problemet, eftersom ett stort ekvationssystem kräver mycket datorkapacitet och lång beräkningstid.

2.2.1 Byggnadsbranschens förhållningssätt till FEM

Även om FEM möjliggör modellering av en godtycklig kropp under belastning, tills materialet går till brott, görs det sällan i byggnadsprojektering. Brottgränstillståndet hanteras istället genom att diskretiserade kraftstorheter (moment, tvärkraft och normalkraft) beräknas enligt elasticitetsteori alternativt gränslastteori. Enligt (8) är den allmänna rekommendationen att elasticitetsteori skall användas även om strukturelementet har förmåga att plasticera i brottgränstillståndet. De beräknade krafterna jämförs sedan med strukturelementets bärförmåga enligt någon byggnorm. I byggnormen beräknas strukturelementets bärförmåga m.h.t. instabilitetsfenomen såsom knäckning, buckling och vippning. Detta tillvägagångssätt har lett till att de datorprogram byggnadskonstruktören använder i sitt arbete kan delas upp i analys- och dimensioneringsverktyg. I analysverktyg beräknas de krafter som uppstår i strukturen och i dimensioneringsverktyget beräknas enskilda strukturelements bärförmåga enligt norm. Det finns även programvaror som implementerar båda dessa funktioner, så kallade A&D-verktyg.

2.2.2 Utvärderade FEM-programvaror

Följande A&D-verktyg kommer behandlas i denna rapport.

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011

Robot Structural Analysis Professional 2011 är ett FEM-beräkningsprogram med stöd för statiska och dynamiska beräkningar. Programmet innehåller även flertalet moduler för normbaserad dimensionering av stålförband, stålpelare, stålbalkar, träpelare, träbalkar samt armering av bjälklag, väggar, pelare och balkar. Samtliga har stöd för Eurocode med olika färdiginställda nationella tillägg.

Robot marknadsförs med att integrera väl med Revit Structure. Modeller som byggs upp i Revit kan exporteras till och importeras från Robot. Detta innebär att de ändringar som görs i Robot efter analys kan föras tillbaka till Revitmodellen på ett automatiserat sätt.

StruSoft FEM-Design 9.0

FEM-Design är ett programpaket bestående av ett antal program som alla baseras på finita elementmetoden. Det utvecklades av svenska StruSoft som startades som en del av Skanska Teknik under namnet Skanska Software, men är idag ett fristående företag.

FEM-Design har skapats från grunden för användning på den svenska marknaden, och har stöd för den svenska anpassningen av Eurocode. 3D Structure är det generella FEM-programmet i paketet och används för att modellera hela byggnader innehållande exempelvis pelare, balkar, bjälklag och väggar. Det innehåller även moduler för normbaserad dimensionering av betong-, stål- och träelement. Programpaketet innehåller även program med mer specialiserat användningsområde exempelvis Plate, Wall och Reinforcement.

StruSoft har utvecklat ett programtillägg till Revit som möjliggör export till 3D Structure. Det är i dagsläget inte möjligt att återföra modellen till Revit, men StruSoft har meddelat att de planerar införa denna funktion i nästa version av tillägget (9).

2.3 IFC – ett format för standardiserat utbyte av BIM-modeller

IFC är skapat för att möjliggöra överförandet av konstruktions- och förvaltningsdata mellan olika programvaror inom byggbranschen (10). Det är ett filformat med en öppen specifikation, fritt för alla på marknaden att implementera (10). Det är även neutralt i meningen att det inte kontrolleras av ett enskilt företag som önskar uppnå konkurrensfördelar genom ett eget starkt filformat. Tanken är att programvaror enbart ska behöva implementera stöd för ett enda filformat utöver sitt eget, IFC, och på så sätt möjliggöra överföring mellan alla tänkbara programvaror.

Formatet är objektorienterat och fokuserar på att definiera de objekt, och klasser av objekt, som behövs för att dela information mellan olika programvaror i byggbranschen (10). Detta i kontrast mot att försöka efterlikna redan existerande proprietära format, eller fokusera på att fungera bra med enbart vissa tillverkares programvaror.

Det finns ingen programvara som implementerar hela IFC-specifikationen, som är väldigt omfattande. Utbyte av IFC-data uppnås istället genom att programvaror implementerar delmängder av specifikationen, designade för att tillgodose ett visst utbytesscenario (10). Dessa delmängder kallas vyer (*Views*).

Det finns ett antal olika vyer, men i nuläget endast en som är fastställd standard:

- **IFC2x3 Coordination View Version 2.0** – IFC-delmängd för samordning av arkitekt-, installatörs- och konstruktörsmodeller under byggnadsprojekteringen.

Förutom denna finns ett antal vyer under utveckling, på väg att bli standarder (10):

- **IFC2x3 Structural Analysis View** – IFC-delmängd för utbyte av strukturella analysmodeller mellan modellerings- och analysprogramvaror.
- **IFC2x3 Quantity Take-off View** – IFC-delmängd för överföring av mängder mellan modelleringsprogramvaror och programvaror för kostnadsuppskattning och beräkning.
- **IFC2x3 FM HandOver View** – IFC-delmängd för överföring av information relevant för fastighetsförvaltning, såsom areor, inredning, inventarier och annan utrustning till CAFM-programvaror (Computer-Aided Facility Management).

2.3.1 De utvärderade programvarornas stöd för IFC

Den vy som är anpassad för överföring till och från beräkningsprogramvaror, Structural Analysis View, stöds inte av någon av de marknadsledande modelleringsprogramvarorna, exempelvis Revit eller Tekla. Dessa har istället valt att implementera endast Coordination View. Detta innebär att den analytiska modellen, som i många fall skapats automatiskt i modelleringsprogramvarorna ej överförs.

De utvärderade programvarornas deklarerade stöd för IFC visas i Tabell 1.

	Import	Export
Autodesk Revit	IFC Coordination View. Ej certifierat (5).	Certifierat för export enligt IFC2x3 Coordination View (5).
Autodesk Robot	IFC2x och IFC2x2 Coordination View. Ej certifierat.	-
StruSoft 3D Structure	IFC Structural Analysis View, samt Coordination View (9). Ej certifierat.	-

Tabell 1: Utvärderade programvarors stöd för IFC

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

Syftet med detta kapitel är att identifiera hur K-projekteringen ändras vid implementeringen av BIM samt vilka effekter detta medför för konstruktörens produktivitet. Kapitlet börjar med att sätta konstruktörens roll i ett större sammanhang i projekteringen med 2D-CAD respektive BIM. Kapitlet avslutas med en detaljerad processmodell med konstruktörens aktiviteter vid 2D-CAD-projektering jämte ett tänkt arbetsflöde i BIM-projektering.

3.1 K-projektering i ett sammanhang

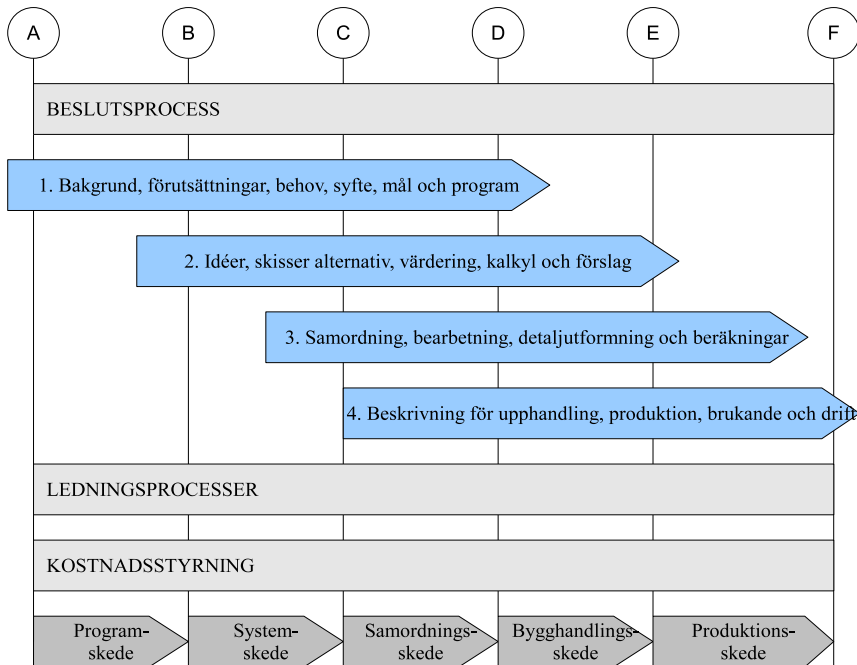
Den beskrivning av projekteringsprocessen som följer under denna rubrik är baserad på kapitel 3-4 i (11).

Med projektering menas den process där egenskaperna hos ett framtida byggnadsverk bestäms och beskrivs med beräkningar, beskrivande texter, skisser, modeller, och bilder. Produkten av projekteringen är den samlade och dokumenterade kunskapen om den framtida byggnaden. Denna imaginära version av byggnaden skall tjäna som underlag för upphandling och byggande av den framtida byggnaden. Vidare skall projekteringen beskriva hur den framtida byggnaden skall tas i drift och förvaltas.

De parter som deltar i projekteringen kallas projektörer. En projektör kan exempelvis vara arkitekt, byggnadskonstruktör, byggnadsprojektör, VVS-projektör, el-projektör eller geotekniker. Allteftersom projekteringen fortskrider sker en kunskapstillväxt. Den ökande kunskapen skall dokumenteras och delas mellan projekteringsdisciplinerna. Kommunikationsflödet i projekteringsprocessen handlar om att hämta in information om förutsättningar, informera om lösningar och uppnådda resultat samt meddela avsikter och direktiv till övriga projekteringsdiscipliner.

En byggnadsprojektering indelas vanligtvis i skeden, se Figur 3 nedan. Skedenas avgränsningar och förhållande till varandra är diffusa, men de betraktas ändå som definierbara delprocesser med en start och ett avslut.

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen



Figur 3: Kunskapsstillväxten i projekteringsprocessen och projekterings olika skeden (11).

Allteftersom projekteringen fortskrider fattar byggherren en rad viktiga beslut, se A-F i Figur 3). Milstolparna i beslutsprocessen är:

- Byggherren beslutar att sätta igång projekteringen av ett byggnadsverk. Beslutet grundar sig på aktörernas (t.ex. samhället eller finansiär) idéer och utredningar.
- Byggherren beslutar om vilka krav som skall ställas på byggnaden med avseende på form och teknisk utformning. Kraven specificeras i ett byggnadsprogram.
- Med underlag i form av förslag och kostnads kalkyler beslutar byggherren om projektets genomförande. Byggherren söker bygglov. Förädling av förslaget och samordning mellan projekteringsaktörerna skall leda fram till underlag för förfrågan och bygghandlingar.
- Byggherren beslutar att sätta igång byggandet, och därmed att producera de handlingar som behövs.
- Byggande, installationsarbeten och provning av installerade system.
- Slutbesiktning, godkännande och överlämnade

Byggherrens beslut grundar sig på en rad redovisningar som arbetas fram i projekteringsprocessens skeden. Redovisningarna består av den vunna och dokumenterade kunskapen i respektive delprocess (1-4 i Figur 3). Redovisningarna sker ofta inför planerade beslutstillfällen. Därför uppstår det en serie redovisningar under varje delprocess.

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

Delprocess 1 handlar om bakgrund och förutsättningar. Hit hör utredningar som lokaliserings-, behovs- och tomtutredningar. Grundförhållanden undersöks. Resultaten redovisas i dokument som byggnadsprogram, detaljprogram, konsekvensutredning och miljökonsekvensbeskrivning (MKB). Dokumentserien kategoriseras som *underlag för projektering*.

Delprocess 2 handlar om att arbeta fram förslag till byggnadens form och tekniska utformning. Resultat redovisas i dokument som idéskisser och programskisser. Dessa dokument kategoriseras efter sitt syfte: *idéer, skisser* eller *förslag*.

Delprocess 3 handlar om samordning och förädling av det vinnande förslaget i föregående delprocess. Byggnaden skall här presenteras i sin helhet. Redovisningarna består av ritningar, beskrivningar och samrådsdokument. Dessa dokument kategoriseras som *huvudhandlingar* eller *systemhandlingar*. Dokumenten används för byggsamråd enligt plan och bygglagen (PBL).

Delprocess 4 Handlar om att arbeta fram underlag för upphandling, produktion och drift. I denna delprocess redovisas resultaten i dokument som förfrågningsunderlag, anbudshandlingar, bygghandlingar, relationshandlingar och driftshandlingar. Dessa dokument kategoriseras som *förfrågningsunderlag, kontraktshandlingar, bygghandlingar* eller *driftdokument*.

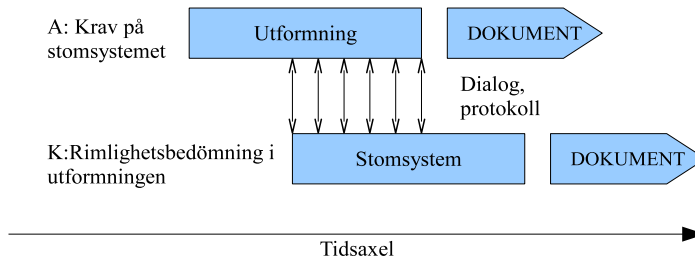
Ledningsprocesser sker kontinuerligt under projekteringen och innehåller dokument som projekttidplan, genomförandeplan, produktionstidplan, kvalitetsplan och kontrollplan. Dokumenten faller under kategorin *projektdokument*.

Ekonomistyrning består av finansieringsplan och kostnadsanalyser såsom livscykelanalys (LCA), kostnadsberäkning och budget. Dessa dokument kategoriseras som *ekonomiska kalkyler, kostnadskalkyler* eller *budget*.

Byggnadsprojektering är en linjär process, där projektet överlämnas mellan projektörer liksom en stafettpinne. Dessa projektörer kan, men behöver inte nödvändigtvis, tillhöra olika företag. Ett företag kan exempelvis arbeta fram systemhandlingar medan ett annat kan producera bygghandlingar av samma byggnad. För att den linjära processen skall fungera är det av yttersta vikt att ett kunskapsutbyte sker mellan projektörerna. Enligt (11) är ett tidsmässigt överlapp av delprocesserna nödvändigt för kunskapsuppbyggnaden och informationsflödet under projekteringen. Överlappningen tillåter att en dialog förs mellan parterna i de olika delprocesserna. Det tillåter till exempel att arkitekten, som arbetar fram den första konceptuella formgivningen, gör det i dialog med byggnadskonstruktören. I detta fall kan konstruktören direkt göra en rimlighetsbedömning i arkitektens formgivning med hänsyn till exempelvis spännvidder och beställarens krav på stomsystem (se Figur 4 nedan). Överlappningen möjliggör att byggnadskonstruktören kan arbeta fram en struktur och genast få feedback från arkitekten med hänsyn till formgivning.

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

Dialogerna avslutas med att upprätta ett protokoll om vad som sagts och vad som gäller för det fortsatta arbetet.



Figur 4: Exempel på dialog som möjliggörs av delprocessernas överlapp i den linjära projekteringsprocessen. Figuren är baserad på (11) s.78.

3.1.1 Kunskapsbygget i projektering med 2D-CAD

I projektering med 2D-CAD dokumenteras kunskapsstillväxten i projektet genom att upprätta tvådimensionella modeller. Varje enskild projektör bygger, efter sitt ansvarsområde, upp sin egen tvådimensionella modell. Modellerna består av linjer i två dimensioner, symboler, måttsättning och förklarande text. Projektörerna kommer överens om hur modellerna skall byggas upp. Ofta används förteckningar, linjestilar, och symboler enligt branschstandard (BSAB).

Ritningsdefinitionsfiler används för att peka ut ett område i 2D-modellen som skall skrivas ut (plottas). Redovisningar under projekteringsprocessen sker med en uppsättning plottar av 2D-modellen, vanligtvis planritningar (horisontella snitt) och sektionsritningar (vertikala snitt). För att förmedla och förtydliga mer komplicerade delar av byggnaden kan projektören upprätta detaljerade sektionsritningar, planritningar och elevationsritningar (sett utifrån) i större skala. Dessa ritningar betecknas detaljritningar. För att redovisa våningshöjd och byggnadens gestaltning upprättar arkitekten sektionsritningar och elevationsritningar, dessa är ofta ett krav för byggsamrådet enligt Plan- och bygglagen (PBL).

Konstruktören ansvarar för att utforma byggnadens bärande stomme. För att klarlägga kraftspelet i byggnaden upprättar konstruktören strukturmekaniska modeller av stommen och beräknar därefter de snittkrafter som uppstår i strukturelementen. Eftersom 2D-CAD-modellerna inte är beräkningsbara i sitt ursprung, då de endast innehåller död grafik, måste konstruktören bygga en analytisk modell anpassad för ändamålet. Detta sker ofta i pre-processorn till en FEM-programvara med en, om det finns tillgängligt, 2D-CAD-modell som underlag. När snittkrafterna är kända dimensioneras strukturelementen genom att bestämma ett tvärsnitt vars bärförmåga är större än de snittkrafter som uppträder i det strukturella sammanhanget. När konstruktören erhållit en fungerande struktur dokumenteras denna i en 2D-CAD-

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

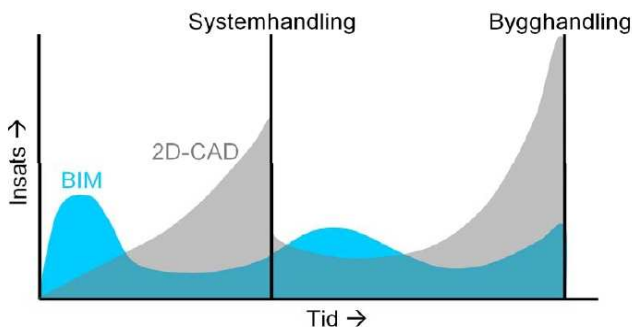
modell. Projektören som ansvar för denna dokumentation går under beteckningen byggnadsprojektör.

Projekteringsprocessen med 2D-CAD innebär att en stor mängd modeller av byggnaden växer fram. Dessa modeller ska beskriva byggnaden så verklighetstroget som möjligt och stämma överens med varandra. Enligt R. Jongeling är problemet med 2D-CAD-projektering just att alla modeller ska stämma överens (4). Tas en vägg bort vid en revidering av underlaget till en projektering, innebär det att alla modeller som innehåller väggen skall uppdateras. Dessutom skall alla beskrivningar och materialförteckningar som påverkas av väggen uppdateras.

Det färdiga resultatet av projekteringen består av en integration av alla projektörens modeller. För att säkerställa en god integration samordnas modellerna. I 2D-CAD-projektering samordnas modellerna genom att granska och jämföra projektörens modeller (i form av ritningar). Det är upp till personen som granskar ritningarna att bedöma om de tekniska lösningarna kommer fungera ihop. Kvaliteten på samordningen, det vill säga integrationen av de olika modellerna, beror på hur väl granskaren kan tolka projektörens modeller (4).

3.1.2 Kunskapsbygget i projektering med BIM

I BIM-projektering dokumenteras kunskapsstillväxten genom att modellera byggnaden med 3D-objekt. Den stora skillnaden mellan BIM- och 2D-CAD-projektering är att projektörerna arbetar fram *en* gemensam modell (4). Modellen förädlas allteftersom form och tekniska lösningar växer fram under projekteringsprocessen. Ur BIM-modellen hämtas 2D- och 3D-visualisering på ett automatiserat sätt. Det är möjligt att ur modellen ta snitt, som utgör underlag för färdiga ritningar. Snitten detaljeras som i traditionella 2D-CAD-program. Enligt (4) ger ett snitt taget från en BIM-modell en 50-80% färdig ritning.



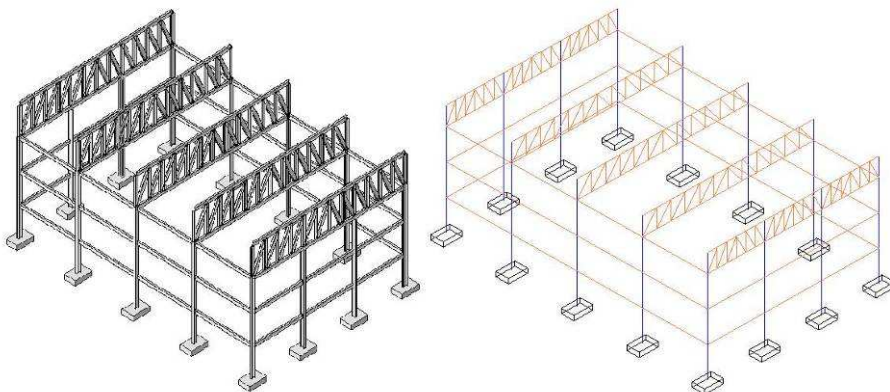
Figur 5: Skillnad i arbetsbelastning för projektering med BIM-verktyg jämfört med 2D-CAD-verktyg (4).

Figur 5 ovan visar schematiskt hur arbetsbelastningen ändras vid BIM-projektering. Som figuren visar tenderar 2D-CAD-projektering att bli mycket arbetsintensiv inför redovisningstillfällena, medan BIM-projektering är mest arbetskrävande tidigt i

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

byggprocessens skeden. Detta beror på att en BIM-modell upprättas tidigt i skedet, och att förse den med korrekt data och definitioner tar tid. Under projekterings gång förfinas BIM-modellen och när redovisningar skall framställas tjänas tiden igen. I 2D-CAD-projektering dokumenteras (modelleras i 2D-CAD) den vunna kunskapen inför ett redovisningstillfälle. (4)

Till skillnad från en traditionell 2D-CAD-modell ska en BIM-modell vara beräkningsbar. I BIM-modellering ges byggnaden en fysisk representation (för framställning av redovisningar) och en analytisk representation (för beräkningar). Den analytiska representationen skapas automatiskt när den fysiska representationen skapas. När det gäller byggnadens strukturmekaniska verkningssätt består den analytiska representationen av modellens strukturella (bärande) objekt, objektens geometri, deras materialegenskaper, laster på strukturen och strukturens randvillkor, se Figur 6 nedan.



Figur 6: BIM-modell i Autodesk Revit Structure. Till vänster: den fysiska representationen av byggnaden. Till höger: den analytiska representationen av byggnaden. (5)

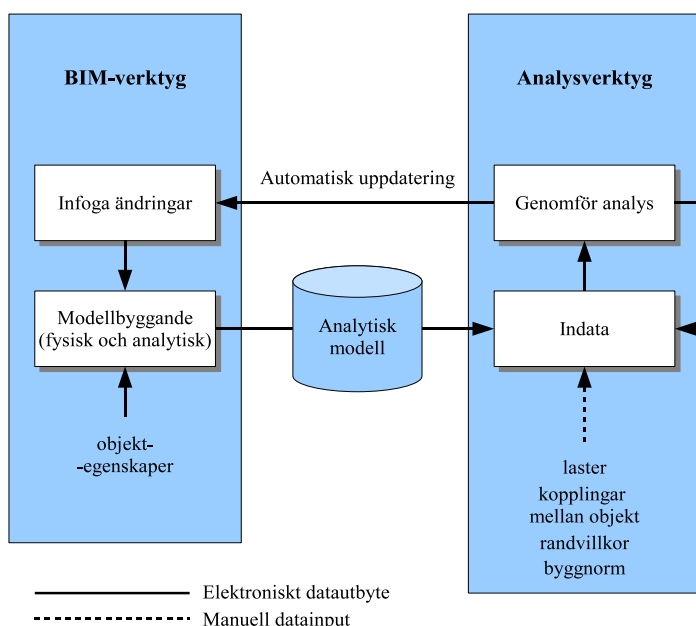
Den analytiska representationen är möjlig att exportera från BIM-verktyget till ett externt analysverktyg. För byggnadskonstruktören är ofta analysverktyget en FEM-programvara.

I det externa analysverktyget görs beräkningar och resultatet återförs till BIM-verktyget (se Figur 7). Eftersom den analytiska representationen är direkt kopplad till byggnadens fysiska representation leder tillvägagångssättet till att beräkningsmodellen har hög validitet avseende bl.a. geometri och material. Vidare leder arbetssättet, om programvarorna stödjer det, till att den fysiska representationen på ett enkelt sätt kan synkroniseras med analysresultaten genom att uppdaterade dimensioner kan återföras på ett automatiserat sätt.

Nedan följer ett exempel:

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

En konstruktör erhåller en BIM-modell gjord av en arkitekt. Konstruktören önskar att kontrollera en fasadpelare, till exempel en HEA 140 i stål S355. Konstruktören exporterar den analytiska representationen av BIM-modellen till ett FEM-verktyg anpassat för byggbranschen. I FEM-verktyget lägger konstruktören laster på strukturen och anger kopplingar mellan de strukturella elementen. Konstruktören väljer enligt vilken norm lasterna skall kombineras och genomför analysen. Pelarens inre krafter skickas till ett normbaserat dimensioneringsprogram som antingen validerar pelarens bärförmåga eller ger ett erforderligt tvärsnitt. Resultaten visar att en HEA 220 fungerar. Konstruktören ändrar därmed tvärsnitt och uppdaterar BIM-modellen, vilket sker på ett automatiserat sätt. Den fysiska representationen i BIM-verktyget uppdateras och visar en HEA 220 S355. Eftersom ritningar skapas utifrån sektioner tagna från BIM-modellen är de per automatik giltiga.



Figur 7: Export av BIM-modell till analysverktyg och återföring av resultat till BIM-modell. Baserad på (1).

3.1.3 Samordning av BIM-modeller

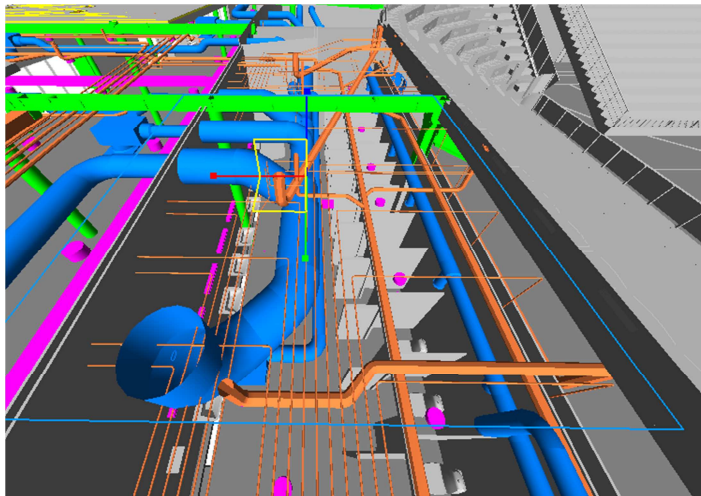
Det finns olika metoder att samordna och samarbeta mellan olika discipliner vid användandet av BIM. Vilka metoder som är möjliga beror på vilka BIM-verktyg disciplinerna använder.

Projektering i olika programvaror

Om projektörerna använder olika BIM-programvaror krävs det att modellerna kan sparas i ett filformat som kan läsas av samtliga projektörer. Ett exempel är det öppna filformatet IFC (Industry Foundation Classes), som skapats i syfte att möjliggöra ett standardiserat utbyte av BIM-modeller mellan olika programvaror. Den enskilde projektörens modell kallas aspektmodell eftersom varje projektörs teknikområde är en aspekt av byggnaden.

Modellerna kan samordnas i ett samordningsverktyg (exempelvis Autodesk Navisworks). I samordningsverktyget är det möjligt att per automatik utföra kollisionskontroller mellan de disciplinspecifika modellerna.

I Figur 8 återges en samgranskningsmodell i Navisworks av Kristianstad Arena. I detta projekt har projektörerna använt olika programvaror för att upprätta sina modeller; Arkitekten (grå) använde Autodesk Architectural Desktop, konstruktören använde TEKLA för att projektera stålstommen (grön), ventilation (blå), el (rosa) och VS (orange) använde MagiCAD.



Figur 8: Samgranskningsmodell från Kristianstad arena.

Samordningfunktioner i Revit

För projektörer som använder Revit Architecture, Structure och MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) har Autodesk utvecklat samordningsfunktioner som gör att projektörerna kan samarbeta direkt i sina respektive Revit-programvaror.

Det finns två huvudsakliga sätt att samordna sitt arbete i Revit:

Centralfil

Revit gör det möjligt för många olika projektörer att arbeta samtidigt i en central modell. Detta fungerar genom att en centralfil upprättas av modellen, som sedan delas in i olika delmängder (*Worksets*) vilka består av en samling objekt. Varje delmängd kan enbart modifieras av en person i taget. För att hantera vem som får ändra i vad, anges olika rättigheter i Revit.

En person står som ägare (*Owner*) för varje delmängd. Andra personer som vill ändra i denna delmängd kan skicka en förfrågan om att tillåtas göra detta. Om det godkänns av ägaren blir förfrågaren en låntagare (*Borrower*) av delmängden och ges ensamrätt att göra ändringar till dess att delmängden återlämnas (*Release*). (12)

Genom att använda en centralfil uppstår inte multipla versioner av modellen. Det finns en, och endast en, giltig upplaga av modellen som utgör byggnadens dokumentation och som alla arbetar mot. Ansvarsfördelningen måste vid detta förfarande göras mycket tydlig och eventuellt administreras genom ägarfunktionerna som finns i Revit. Annars finns det risk att aktörer inför ändringar i objekt som får oavsiktliga konsekvenser för andra discipliners användande av samma objekt.

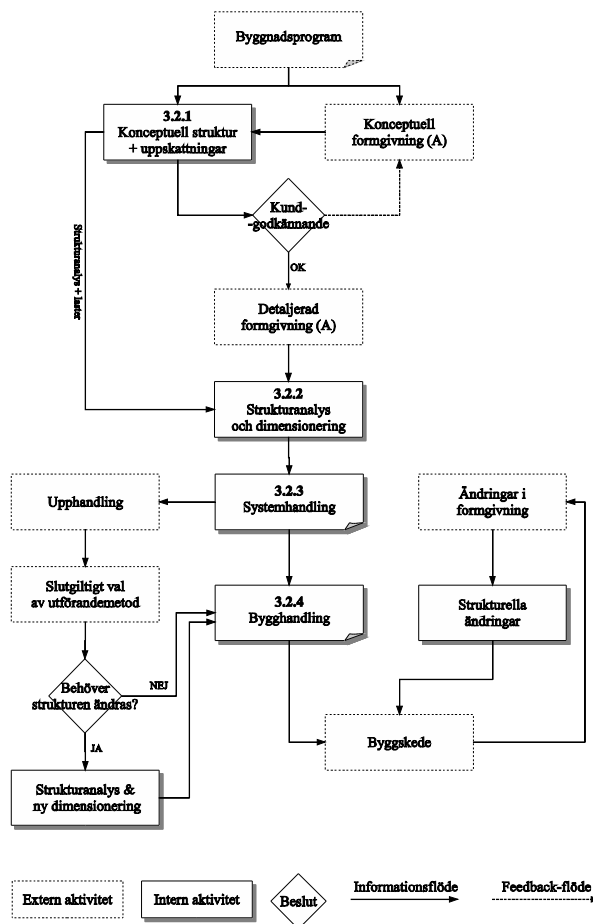
Länkning

Ett alternativ till att använda en centralfil är att de olika disciplinerna länkar in de andras modeller i sin egen. Detta innebär att de kan ha en översyn av de andra disciplinernas modeller och anpassa sin egen efter dessa. Eftersom modellerna endast är länkade innebär en förändring i en modell inte automatiskt någon ändring i en annans modell. Revit har en funktion som kan övervaka (*Monitor*) valda element från inlänkade filer och informera användaren om någon ändring görs i dessa (12).

Detta tillvägagångssätt gör det enklare att göra upp ansvarsfördelningen, men innebär samtidigt risk för att det existerar olika versioner av modellen som ej är synkroniserade.

3.2 Processmodell för K-projektering

I föregående avsnitt gavs en allmän beskrivning av byggnadsprojektering. Detta avsnitt ämnar beskriva byggnadskonstruktörens arbete i projekteringsprocessen i en högre detaljeringsgrad. Konstruktörens arbete beskrivs med ett antal arbetsflödesdiagram. Med syftet att visa hur BIM-understödd byggnadsprojektering påverkar konstruktörens arbetsflöde och metoder, återges arbetsflöden vid 2D-CAD-projektering vid sidan av arbetsflöden vid BIM-projektering. Underlag till flödesdiagrammen har hämtats från (13). I samråd med Andreas Hägg (NCC Teknik, Malmö) har flödesdiagrammen anpassats till svenska termer och uttryck. Flödesdiagrammen (Figur 10 till Figur 13 nedan) är framtagna för armerade betongkonstruktioner, men kan sägas vara giltig för stål- och träkonstruktioner om vissa arbetsmoment byts ut.

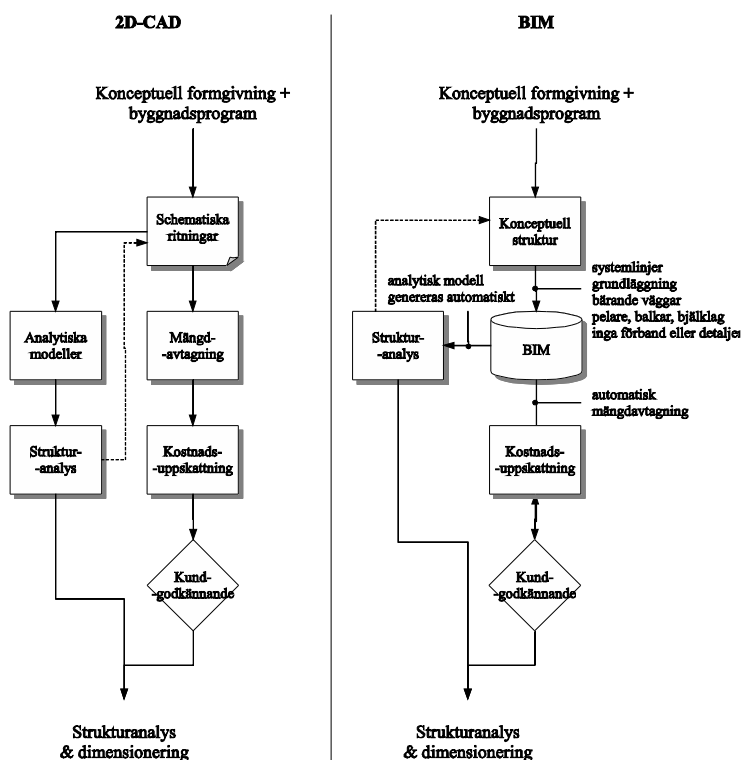


Figur 9: Processmodell för K-projektering av platsgjuten armerad betongkonstruktion. Processen gäller även för stål- och träkonstruktioner.

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

Figur 9 visar en överskådlig processmodell av konstruktörens arbete vid projektering av en platsgjuten armerad betongstruktur. Modellen är giltig även för stål- och träkonstruktioner. Modellen startar med att konstruktören erhåller byggherrens kravspecifikation (byggnadsprogram) och slutar med att byggnaden är uppförd. Byggnadsprojekteringen avslutas vanligtvis vid färdiga bygghandlingar. Anledningen till att modellen avslutas så sent som byggnadens färdigställande är de ändringar och tillägg som uppkommer under byggskedet (utförandefel, ändringar i gestaltning, fel i bygghandlingar etc.). Under arbetets gång inhämtas förutsättningar, såsom laster och geotekniska förhållanden. Processen i Figur 9 kan sträcka sig över olika lång tid beroende på resurser, byggnadens storlek och komplexitet, beslutsvägar, samhällets krav etc. I vissa fall kan processen ta tiotals år. Det är viktigt att poängtera att processen är iterativ. Resultat från tidigare beräkningar återinförs som indata i nya beräkningar. Iterationen upprepas tills en fungerande struktur erhållits med hänsyn till normer och beställarens krav.

3.2.1 Konceptuell struktur och uppskattningar



Figur 10: Aktiviteter under framtagning av konceptuell struktur och uppskattningar.

Detta skede handlar om att bestämma hur den bärande stommen skall utformas för att tillmötesgå kraven i byggnadsprogrammet och projektets ekonomiska ramar, samt att validera arkitektens formgivning så att den går att utforma rent konstruktivt. I detta

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

konceptuella skede bestäms, i stora drag, vilken stomtyp som skall användas, identifiera vilka laster som uppkommer och placera bärande strukturelement. Efter dessa förutsättningar bestäms ungefärliga dimensioner på stommens ingående element.

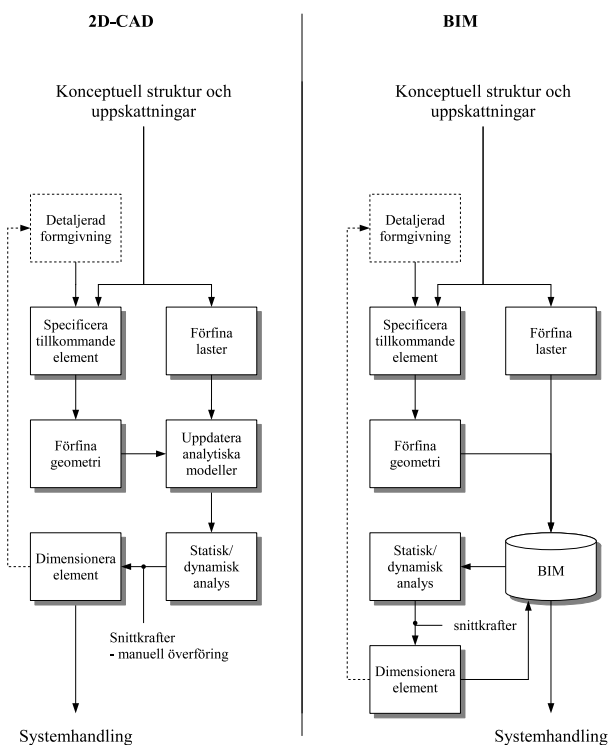
Två stora processförbättringar uppkommer vid implementeringen av BIM:

Den första är att en beräkningsmodell för strukturanalys erhålls direkt från BIM-modellen. Om en FE-analys görs i 2D-CAD-processen måste strukturen ritas manuellt i analysprogrammets pre-processor, ett arbete som innebär mycket manuell inmatning av data.

Den andra fördelen är att mätningen är helt automatiserad i BIM-processen. I 2D-CAD-processen görs mätningen ofta manuellt.

Dessa två fördelar gör att K-projekteringen blir mer korrekt från första början. En noggrann lastnedräkning görs från första början varpå dimensioner och placering av bärande element kan uppskattas på ett bättre sätt. Tillsammans med en automatisk mängdavgivning blir den första kostnadsuppskattningen mer tillförlitlig.

3.2.2 Strukturanalys och dimensionering



Figur 11: Aktiviteter i beräkningsstadiet inför framställandet av systemhandlingar.

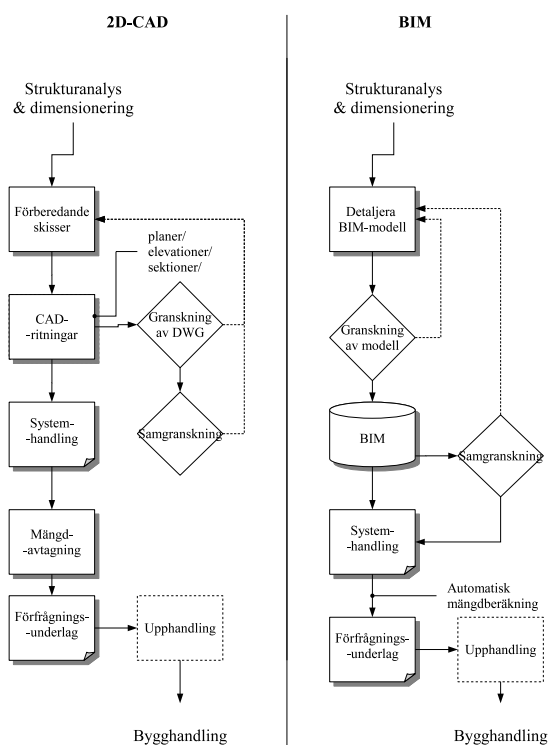
3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

I detta skede har arkitektens formgivning detaljerats och projektets förutsättningar är klarare. K-projekteringen handlar nu om att förfina den analytiska modellen så att mer tillförlitliga beräkningsresultat erhålls samt att beräkna stomdimensioner så att systemhandlingar kan upprättas.

Den enda signifikanta skillnaden i detta skede är att dimensioneringsresultaten lagras i BIM-modellen så att de är direkt tillgängliga för detaljering i kommande systemhandlingsskede.

Precis som i föregående skede är det möjligt att framställa en analytisk modell direkt ur BIM-modellen. Tidsvinsten är påtaglig om strukturen ändras mycket i detta skede.

3.2.3 Systemhandlingsskede



Figur 12: Aktiviteter under framtagningen av systemhandlingar.

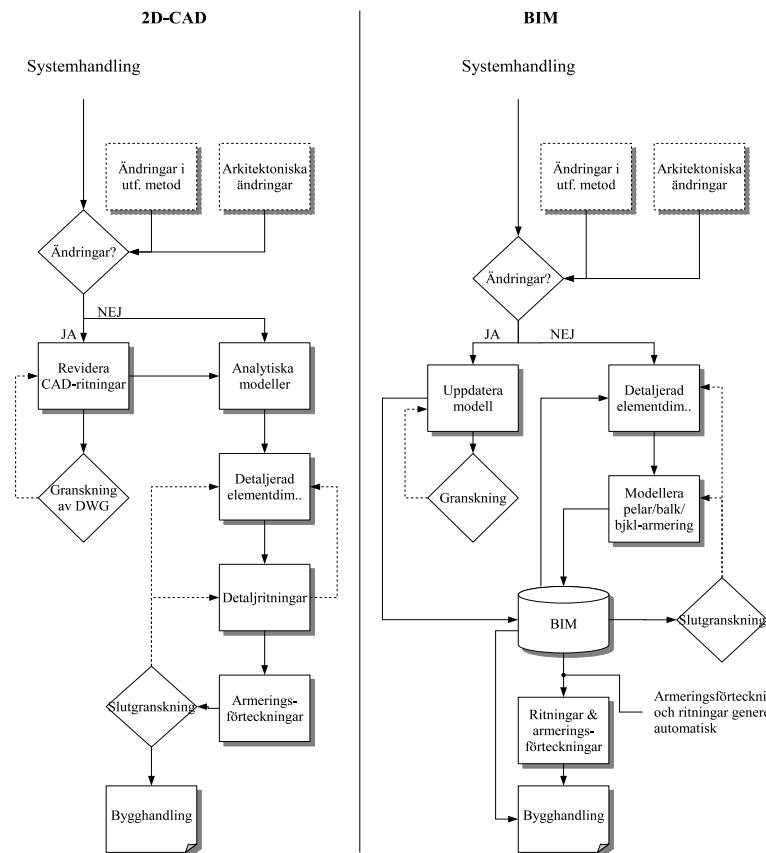
I detta skede vinnns mycket av den modellerings-tid som investerats i tidigare skeden – det är möjligt att direkt ur BIM-modellen extrahera ritningar. I 2D-CAD-processen är detta skede mycket arbetsintensivt eftersom det är nu de vunna kunskaperna ska dokumenteras i CAD-verktyget.

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

En annan fördel i systemhandlingskedet är att samordningen kan ske direkt i BIM-modellen, vilket kan bidra till kortare ledtider och lägre kostnader för ritningsutskrifter och/eller elektronisk delning av många 2D-CAD-filer.

Mängdningen sker automatiskt vilket underlättar och förenklar arbetet med att ta fram förfrågningsunderlag.

3.2.4 Bygghandlingsskede



Figur 13: Aktiviteter under framtagningen av bygghandlingar.

Bygghandlingsskedet förändras drastiskt i BIM-projektering. Den detaljerade dimensioneringen av strukturelementen kan utföras direkt på objekten i modellen. I 2D-CAD-projektering måste laster och geometri återinföras i dimensioneringsverktyg. Den största skillnaden i BIM-projekteringen är att ritningsframställningen sköts av BIM-programvaran, med en liten manuell inmatning av data. I 2D-CAD är ritningsframställningen det mest arbetsintensiva momentet. Armeringsmodellering i BIM-projekteringen görs genom att använda parametriska rutiner som är applicerade i

3. Konstruktörens arbetsflöde i projekteringsprocessen

modellen, med en snabb och effektiv modellering som följd. Armeringsförteckningar genereras automatiskt.

3.3 Produktivitetseffekter vid K-projektering med BIM

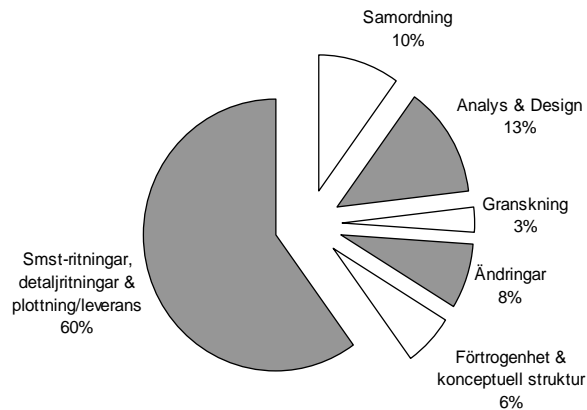
En kvalitativ processändring i K-projekteringen presenterades under föregående rubrik. Denna rubrik ämnar beskriva processförändringen kvantitativt.

I *BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt* presenteras en undersökning som bygger på intervjuer (4). Nyttoeffekterna vid BIM-projektering kvantifieras i form av tid för framtagning av redovisningar vid BIM-projektering relativt 2D-CAD-projektering. Värdena är uppskattningar och bedömningar eftersom ingen av de intervjuade kunde visa på egna mätvärden gällande produktivitet eller kvalitet. Här återges intervjuresultaten för K-konsulter.

	Skillnad i tid relativt 2D-CAD		Kvalitet
Ritningar framtagna från BIM-modell			
System- och bygglovshandlingar	0-10%	Oförändrad/Minskning	Högre
Bygghandlingar - planer/sektioner	10-20%	Minskning	Mycket högre
Bygghandlingar - tillverkning	30-40%	Minskning	Mycket högre
Beskrivningar, rapporter och materialmängder från BIM-modell			
	50-70%	Minskning	Mycket högre

Tabell 2: Jämförelse mellan BIM och 2D-CAD i tid och kvalitet vid K-projektering (4).

I *Research Report #1005156* görs en empirisk mätning av hur K-projekteringen ser ut med 2D-CAD och ett experiment för att finna eventuella nyttoeffekter med BIM-projektering (13). Figur 14 visar genomsnittlig andel av konstruktörens tid som läggs på respektive aktivitet i K-projektering med 2D-CAD. Underlaget, som beskriver hur många timmar som investeras i olika ingenjöraktiviteter, samlades in från konstruktörsfirmor (i Kanada, Finland och Israel) och sträcker sig över 13 platsgjutna betongprojekt (13). I Figur 14 återges genomsnittlig aktivitetsproportion. Notera att avvikelserna i figuren är stora eftersom projekten inte har differentierats avseende typ, storlek, konstruktionsmetod, antal producerade versioner eller upprepade konstruktionslösningar. Som ett exempel skiljer sig andelen för ritningsframställning beroende på vilken typ av byggnad som projekteras: kommersiella byggnader – 52 %, allmänna byggnader – 52 %, bostäder 71 %. Figuren ger dock en fingervisning på tidfördelningen mellan aktiviteter i K-projektering med 2D-CAD.



Figur 14: Genomsnittliga aktivitetsproportioner i K-projektering (13).

För att finna kvantifierbara nyttoeffekter med BIM-projektering gentemot 2D-CAD-projektering görs ett experiment i (13). Experimentet går ut på att låta byggnadsingenjörstudenter modellera tre 2D-projekterade byggnader i ett BIM-verktyg (Tekla). Varje byggnad modellerades till en detaljnivå tillräcklig för att producera bygghandlingar från modellen. Experimentet påvisade en tidsbesparing för ritningsframställningen på 21 % respektive 61 % för de två byggnaderna med någorlunda repetitiva våningsplan och 55 % för en byggnad med varierande geometri på våningsplanen. Nyttoeffekter för övriga aktiviteter kunde inte undersökas i experimentet. Med Figur 14 i åtanke, där ritningsframställning upptar 60 % av den totala arbetsbelastningen, är ett rimligt antagande att BIM-projektering kommer medföra att K-projekteringen genomförs på en kortare tid.

I den studerade litteraturen har endast undersökningar hittats som, ofta genom intervjuer, kvantifierar nyttan med BIM i ritningsframställningsfasen. Denna rapport handlar främst om analys och dimensioneringsaktiviteter och undersökningar som påvisar produktivitetseffekter för dessa har inte hittats. De största effektivitetsvinsterna bör dock ligga i att data inte manuellt behöver föras in i FEM-programmets pre-processor som ofta upplevs lite omständlig att arbeta i, samt att dimensioneringsresultaten kan lagras direkt i BIM-modellen. Denna vinst blir mer påtaglig ju fler strukturanalysen som skall göras i projektet.

BIM-projektering tenderar att bli arbetsintensiv i början av ett skede i byggprocessen (se 3.1.2), vilket beror på att arbetet med att uppföra en BIM-modell är omfattande. För att ha nytta av detta arbete under analys- och dimensioneringsaktiviteterna är det av yttersta vikt att modellen byggs korrekt från första början. Denna processförändring leder till att personen som bygger BIM-modellen måste ha ingenjörskunskaper i FEM såväl som dimensionering. (13) menar att konstruktören kommer att få en större andel av den totala arbetsbelastningen, eller att en ny yrkesroll kommer att utvecklas som kommer att ha kunskap i analys och dimensionering såväl som i ritningsframställning.

4. Fallstudie av dimensionering med 2D-CAD som underlag

Här presenteras en kort fallstudie av dimensioneringsarbetet i projektet Bjerredsparken, genomförd på NCC Teknik i Malmö under hösten 2010. Syftet är att kartlägga hur en konstruktör kan arbeta vid 2D-CAD-projektering på NCC Teknik samt att identifiera problem eller effektiviseringsmöjligheter i arbetet.

4.1 Metod för fallstudien

Fallstudien genomfördes genom att med jämna mellanrum intervjuade personer som arbetade med projektet. De fick då förklara vad de arbetade med samt vilka problem de stött på och hur de kommit runt dem. Detta antecknades löpande och sammanfattas nedan.

4.2 Projektering av Bjerredsparken - Bakgrund

Ett bostadshus med sex våningar, affärslokaler i bottenplan och ett parkeringsgarage i källarplan ska uppföras i Lund. Det ritas av arkitektfirman Jacobsson & Sjögren Arkitekter AB. Tyréns har upprättat systemhandlingar vilka sedan låg till grund för en upphandling av totalentreprenad. Uppdraget att projektera bygghandlingar tillföll NCC Teknik.

Husets bärande stomme utgörs av stålpelare i fasaden, betongpelare inne i byggnaden, samt platsgjutna väggar som även står för horisontalstabilisering av byggnaden. Bjälklagen består av övergjutna plattbärlag.

4.3 Redogörelse av dimensioneringsarbetet

Dimensioneringen utfördes i enlighet med de gamla svenska normerna BKR. Från och med den 1 januari 2011 ska dimensionering ske enligt Eurocode, men undantag görs för arbeten för vilka bygganmälan gjorts före den 2 maj 2011.

Programvaror

De programvaror som användes under projekteringen är följande:

StruSoft FEM-Design 8.0

3D Structure 8.0

Wall 8.0

StruSoft Winstatik

Betongbalk 5.3

Betongpelare 5.3

Revit Structure 2011

Det bör poängteras att det vid fallstudiens genomförande fanns en nyare version av FEM-Design tillgänglig på NCC Teknik. Anledningen till att den äldre version 8.0 användes var att stödet för BBK och BSK tagits bort till förmån för Eurocode i den nyare versionen. I kapitel 4.4 - *Identifierade problem och möjligheter vid*

4. Fallstudie av dimensionering med 2D-CAD som underlag

dimensioneringen förtydligas bland annat vilka problem som hade undvikits om den nyare version 9.0 av 3D Structure hade kunnat användas.

Inledande bedömning av systemhandlingarna

Den för projektet ansvariga konstruktören inledde med att göra en översiktlig kontroll av byggnadens utformning och huruvida placering av väggar och pelare gav rimliga spännvidder för bjälklagen. En översiktlig bedömning gjordes av vilka dimensioner väggar och pelare skulle få samt om dessa var förenliga med arkitektens planlösning.

Då byggnaden är relativt komplex bedömde konstruktören att den skulle modelleras och analyseras i en FEM-programvara för att på ett noggrannare sätt kunna genomföra lastnedräkning och erhålla snittkrafter för ingående byggnadselement.

3D-modellering utgående från 2D-CAD-ritningar

En stomplan levererades av arkitekten i form av tvådimensionella ritningar i AutoCAD 2007-format. Ritningarna var uppdelade i en fil per våningsplan samt en fil med sektionsritningar.

För modellering användes 3D Structure. CAD-ritningarna som levererades från arkitekten innehöll rent geometrisk information. Den geometriska information konstruktören behöver i beräkningarna (medelplan, medellinjer, etc) fanns inte tillgängligt på ett enkelt sätt.

För att bygga upp den analytiska modellen av byggnaden i 3D Structure utgick konstruktören från arkitektens CAD-ritningar och lade ovanpå detta in ett nytt lager i AutoCAD där balkars och väggars medellinjer, samt pelares medelpunkter ritades in. Detta exporterades sedan till 3D Structure, där varje våningsplan kopplades samman med väggar och pelare för att skapa 3D-modellen. Pelare och väggar gavs de dimensioner och material som specificerats i systemhandlingen.

I enlighet med BKR lades sedan alla laster som kommer att verka på byggnaden in. Efter att alla lastkombinationer definierats genomfördes FEM-beräkningen vartefter samtliga snittkrafter i ingående konstruktionselement kunde bestämmas.

Dimensionering av armering i väggar

3D Structure 8.0 innehöll, till skillnad från den nyare versionen, ej stöd för att automatiskt generera och dimensionera armering i väggar. Konstruktören använde därför programmet Wall från samma programpaket istället.

Nackdelen med detta var att de snittlaster som beräknats i 3D Structure inte kunde användas direkt vid dimensionering. På grund av detta måste alla laster som verkade på en vägg manuellt matas in i Wall och dimensioneras där.

För att inte behöva göra detta för varje vägg i hela byggnaden utnyttjades resultatet från analysen i 3D Structure för att identifiera vilka väggar som utsattes för störst

4. Fallstudie av dimensionering med 2D-CAD som underlag

spänningar. Dessa dimensionerades sedan i Wall och samma dimensioner användes sedan till övriga väggar.

Dimensionering av armering i bjälklag

Programmet Plate användes för dimensionering av bjälklagen. Plate har stöd för att importera 3D Structure-modellen av byggnaden förutsatt att våningsplanen definierats korrekt i denna. Även lastkombinationerna som angetts i 3D Structure följer med vid importen. De snittkrafter som tagits fram för exempelvis pelare och väggar som står på bjälklaget följde dock inte med varför dessa måste läggas in manuellt.

Genomstansningskontroll av pelarunderstödda bjälklag

Med hjälp av 3D Structure plockades de normalkrafter som uppträder i pelarna i byggnaden fram. Genomstansningskontrollen utfördes sedan för hand.

Dimensionering av armering i betongpelare

Programmet Betongpelare användes vid dimensionering av betongpelare. De på pelarna verkande krafterna plockades från lastnedräkningen i 3D Structure. Dessa samt pelarens dimensioner matades manuellt in och programmet genererade erforderlig mängd armering. Om dimensionerna ej medgav plats för erforderlig armering varnade programmet om detta, och pelarens dimension fick ändras.

Dimensionering av armering i betongbalkar

För dimensionering av betongbalkar användes programmet Betongbalk. I de fall pelare stod uppställda på en balk plockades normalkrafterna från 3D Structure och förs manuellt in som punktlaster. Linjelaster härrörande från egenvikt och nyttig last etc. lades in manuellt. I Betongbalk matade sedan konstruktören in vilket bredd och höjd balken skulle ha. Längden och upplagsvillkor för balken hämtades från de förutsättningar som hittades i arkitektens ritningar. Betongbalk genererade sedan vilken armeringsmängd som krävdes. Om dimensionerna var för små för att rymma erforderlig mängd, upplyste programmet om detta och dimensionerna fick uppdateras.

Dokumentation av beräkningar och resultat

Konstruktören dokumenterade resultaten av dimensioneringen genom att föra in dess slutgiltiga dimensioner antingen i en CAD-ritning baserad på systemhandlingarna, eller som en skiss på ett papper. Dessa överlämnades sedan till projektören ansvarig för ritningsarbetet. Ritningsarbetet utfördes sedan i Revit.

Kvarstående projekteringsarbete efter fallstudiens avslutande

När modelleringen i Revit är färdig ska hela modellen skickas till arkitekten som sedan utför stomkompletteringen under löpande konsultation av konstruktörerna. Kommunikationen dem emellan ska ske via ritningar upprättade av arkitekten som skickas till konstruktören för bedömning. Efter detta presenterar konstruktören sina slutsatser i möten med arkitekten.

4.4 Identifierade problem och möjligheter vid dimensioneringen

3D-modellering utgående från 2D-CAD-ritningar

Då ritningarna modifierats och exporterats från AutoCAD till 3D Structure, 3D-modellen upprättats och elementindelningen skulle utföras uppdagades ett problem. Medellinjerna för väggarna, som manuellt ritats in ovanpå arkitektens planritningar och som låg till grund för hur väggarna skulle ritas, hade inte hamnat precis ovanför varandra i 3D-modellen. En sådan detalj får stort genomslag vid elementindelningen eftersom ovanpåliggande väggar hamnade i nära anslutning till varandra utan att dela noder. Detta fick till följd att väggarna manuellt behövde flyttas för att elementindelningen skulle gå att genomföra och för att beräkningstiden skulle bli acceptabel.

Eventuellt hade modelleringen förenklats och kunnat genomföras snabbare om förfarandet att rita in medellinjer ej gjorts i AutoCAD utan hela modellupprättandet genomförts i 3D Structure. 3D Structure har stöd för att importera dwg-filer (AutoCAD) och hantera lager och linjer så att allt som inte har betydelse för konstruktören kan döljas. Istället för att rita ut medellinjer hade lämpliga stomlinjer kunna upprättas utifrån de importerade dwg-filerna, som sedan legat till grund för utplaceringen av väggar och bjälklag. Det hade även gått att kopiera återkommande objekt mellan våningsplanen direkt i 3D Structure. Båda dessa förfaranden hade troligtvis lett till att problemet med de felplacerade väggarna kunnat undvikas.

Dimensionering av väggar och bjälklag

I 3D Structure 9.0, den nyare versionen som fanns tillgänglig, har de inbyggda dimensioneringsmodulerna stöd för att automatiskt generera erforderlig armering i väggar, bjälklag och pelare. När projekten i framtiden ska dimensioneras enligt Eurocode är dessa dimensioneringsmoduler att föredra framför manuella överföringar mellan programmen, då de på ett automatiserat sätt ges tillgång till alla dimensionerande snittlaster som beräknats i 3D Structure. Dessutom kan FEM-modellen uppdateras utifrån dimensioneringen på ett automatiserat sätt och verifierande beräkningar lättare genomföras.

Dimensionering av armering i betongbalkar

Vid dimensionering av balkarna använde konstruktören programmet Betongbalk. Denne lade sedan manuellt in vilka linjelaster som skulle verka på dem. Det fanns dimensioneringsmoduler i Plate för att hantera balkar vilket eventuellt hade kunnat användas för att undvika arbetet med att beräkna och lägga in laster på balkarna. Balkarnas längd, upplagsvillkor samt dimensioner hämtades från systemhandlingarna i AutoCAD, och matades in manuellt. Detta innebar ett merarbete jämfört med om version 9.0 hade kunnat användas där dimensioneringsmodulerna direkt skulle haft tillgång till denna information.

Allmänt om dimensioneringen

Slutligen kan påpekas att de ändringar som gjorts av konstruktionselementen till följd av dimensioneringen ej återinfördes i 3D Structure-modellen för verifierande lastnedräkning då styvheten ändrats. Detta hade underlättats om ändringar av elementen på ett automatiserat sätt kunnat återföras efter dimensionering, något som hade kunnat ske med lätthet om de inbyggda dimensioneringsmodulerna i version 9.0 kunnat användas.

Uppdragsledaren för Bjerredsparken, Henrik Böiers, gör bedömningen att i ett projekt av denna typ spenderas 20 % av tiden i samordningsmöten, 20-30% på beräkningsarbete, samt resterande tid på ritningsarbete. Det finns alltså stora vinster i att effektivisera ritningsarbetet. Ett arbetsflöde där resultaten från dimensioneringen på ett automatiserat sätt kunnat införas i exempelvis en Revitmodell, och användas som underlag för ritningsarbetet, hade kunnat spara tid.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

I detta kapitel utvärderas hur en BIM-modell fungerar som underlag för analys dimensionering. Syftet är att undersöka hur väl ett BIM-arbetsflöde skulle kunna fungera med Revit och Robot alternativt Revit och FEM-Design

5.1 Metod och förutsättningar för utvärdering

För att utvärdera konstruktörens arbete i en BIM-projektering används en arkitekturitad Revitmodell av Ideon Gateway.

En första utvärdering görs av huruvida modellen ritad av arkitekten, direkt eller efter smärre modifikationer, lämpar sig att utföra beräkningar på (kap 5.3.2). Efter detta följer en utvärdering där konstruktören upprättar en fristående modell, med arkitektens Revitmodell underlag, för att utföra beräkningar på (5.3.3).

De programvaror som används vid utvärderingen är:

Programvara	Versionsnummer
Autodesk Revit Structure 2011	20100903_2115 Web Update 2 Service Pack
Autodesk Robot Structural Analysis Pro 2011	24.0.5.355
StruSoft FEM-Design 9.0 - 3D Structure	9.00.013
Revit add-ins	
Revit To FEM-Design	Build No: 1.2.003 R2F Filversion 1.2.1
Analysis Integration Enabler 2011 (Robots add-in till Revit)	22.0.20100330

Datorn som används vid utvärderingen har följande konfiguration:

Processor	Intel Core2 Duo @ 3.00 GHz
Minne	2 GB RAM
Ledigt diskutrymme	ca 90 GB
Grafikkort	NVIDIA Quadro FX1700 512 MB
Operativsystem	Microsoft Windows Vista Enterprise SP2
Grafikkortsdrivrutin	191.78

5.2 Introduktion till den analytiska representationen i Revit

På NCC Teknik sker BIM-modellering främst i Revit, men även i Tekla. Revit används därför som utgångspunkt för att beskriva den analytiska representationen av en BIM-modell samt för att identifiera vilka problem som kan uppstå med denna vid modellering. Vidare används Robot för att illustrera den FEM-programvara som kopplas till BIM-modellen. Fortsättningsvis avser benämningen Revitmodell en BIM-modell som modellerats i Revit.

För att kunna skapa en beräkningsbar analytisk modell är det viktigt att ha förståelse för hur Revitobjekt översätts till objekt i FEM-programvaror. En byggnad består av ett antal objektfamiljer, exempelvis pelare, balkar, bjälklag och väggar. I Robot representeras objekten av strukturelement. Pelare och balkar är objekt med huvudsaklig utsträckning i en dimension och representeras i Robot av balkelement, se Figur 15. Balkelementens geometri ges av linjer som löper genom balk- och pelarelementens tyngdpunkt (vid konstant E-modul) i dess längdriktning. Bjälklag och väggar är objekt med huvudsaklig utsträckning i två dimensioner och representeras i Robot med skalelement. Skalelementets geometri ges av det fysiska bjälklagets, eller väggens, geometriska medelplan.



Figur 15: Till vänster: Fysisk representation av IPE-balk i Revit. Den tjocka linjen anger var balkens analytiska representation, en linje, är belägen. Linjen ligger i tvärsnittets tyngdpunkt. Till höger: Den analytiska representationen i Robot - ett 3D-balkelement.

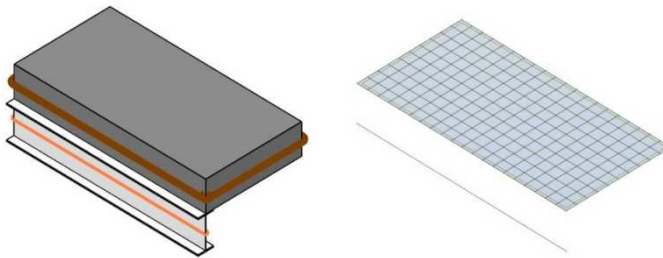
När en Revitmodell skall användas för att utföra FE-beräkningar uppstår nya hänseenden i modelleringsprocessen:

- Modellens analytiska representation skall vara kontinuerlig (sammanhängande)
- Geometrin skall byggas sådan att den fångar strukturens verkningsätt
- Geometrin bör byggas med hänsyn tagen till antalet frihetsgrader som skapas vid elementindelning, d.v.s. att modellen skall byggas sådan att den blir beräkningseffektiv.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

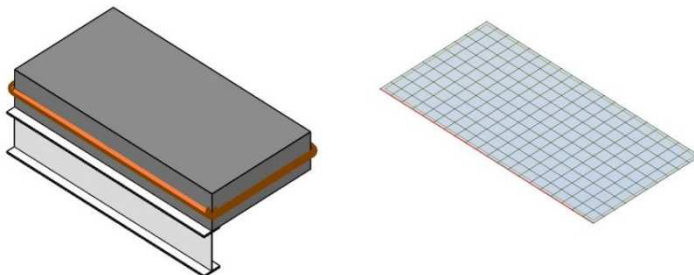
Den analytiska modellens kontinuitet

Problem kan uppstå i beräkningsmodellen där objektens analytiska representationer inte ansluter till varandra, beräkningsmodellen blir icke-kontinuerlig. Problemet uppstår eftersom ett objekt representeras av en volym och FE-elementen representeras av linjer eller plan. Att två objekt ansluter till varandra i den fysiska Revitmodellen behöver inte medföra att objektens analytiska linjer (eller plan) ansluter till varandra. Därmed är inte en Revitmodell som tillfredsställer redovisningskraven per automatik en bra beräkningsmodell. För att konkretisera resonemanget följer nedan ett par exempel på problem som kan uppstå och hur de kan lösas.



Figur 16: Vänster: Del av bjälklag upplagt på IPE-balk i Revit. Höger: FE-modell i Robot efter export.

Betrakta Figur 16 ovan som visar delar av ett balkunderstött bjälklag i Revit och resulterande FE-modell i Robot. Som synes är inte de analytiska linjerna anslutna till varandra, vilket resulterar i att balkens styvhet inte tillgodoräknas i noderna längs den upplagda bjälklagskanten. Lösningen på problemet är att manipulera balkens, alternativt bjälklagets, analytiska representation så att balk och bjälklag möts, se Figur 17 nedan.

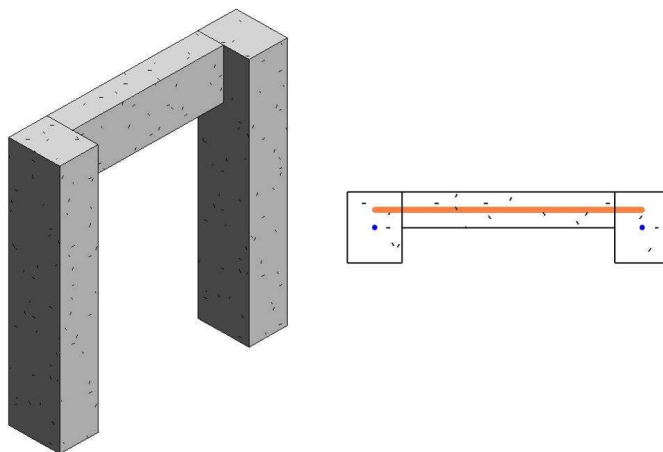


Figur 17: Balkens analytiska representation flyttat till bjälklagets medelyta.

När dessa typer av anslutningar inträffar har Revit en avkänningsfunktion som automatiskt korrigerar objektens analytiska representationer.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Autofunktionen korrigerar balkens analytiska linje till det ovanliggande bjälklagets analytiska plan. Bjälklagsobjektet är i denna mening överordnat balkobjektet. Användaren har möjlighet att ange regler för avkänningsfunktionen. Detta görs genom att specificera toleransavstånd för hur långt ifrån objektets fysiska geometri den analytiska representationen tillåts flyttas, samt inom vilka avstånd avkänningsfunktionen känner av bjälklag

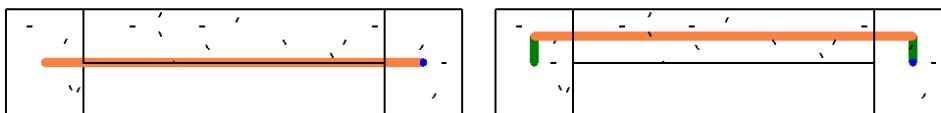


Figur 18: Ramkonstruktion där överliggaren ansluter excentriskt till pelarna. Till vänster: fysisk representation i perspektiv. Till höger: analytisk representation i plan.

Figur 18 visar en ram där överliggaren ansluter excentriskt till pelarna. Analytiskt representeras ramen av tre balkelement. I detta exempel uppstår ett problem som kräver en förenkling: trots att överliggaren är kopplad till pelarna i den fysiska modellen sitter medellinjerna inte ihop. Kontinuitetsproblemet kan lösas på olika sätt i Revit. Vilket som används beror på ingenjörsmässiga avväganden.

Det första alternativet är att flytta överliggarens medellinje så att den ansluter till pelarnas (se vänster del av Figur 19). Tillvägagångssättet leder till att det moment som uppstår i pelarna på grund av överliggarens excentricitet försummas.

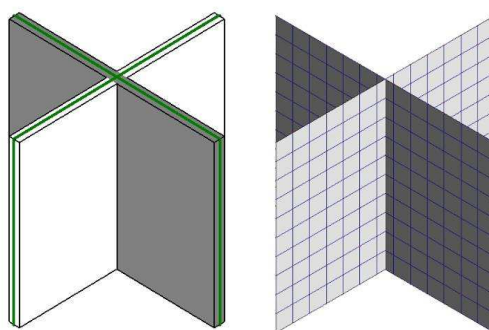
Det andra alternativet är att införa så kallade *Rigid Links* mellan överliggarnas noder och pelarens övre noder (se vänster del av Figur 19). *Rigid Link* är ett oändligt styvt balkelement utan egenvikt (5). Denna metod avspeglar strukturens verkningssätt på ett bättre sätt än att manipulera överliggarens medellinje, eftersom excentricitetsmomentet beaktas.



Figur 19: Till vänster: excentriciteten hanteras genom att manipulera överliggarens medellinje. Till höger: excentriciteten hanteras genom att införa *Rigid Links*.

Det tredje alternativet, att manipulera pelarnas medellinjer till överliggarens medellinje är inte möjligt att göra i Revit. Pelare är i denna mening överordnade balkar. Revit kan automatiskt, efter användardefinierade regler, flytta balkens beräkningslinje. Om *Rigid Links* skall användas måste användaren ange detta i balkobjektets egenskaper.

Den analytiska modellen skall fånga strukturens verkningsätt



Figur 20: Till vänster: Korsande väggar ritade som två objekt och dess medelytor i Revit. Till höger: Resultande elementindelning i Robot.

Figur 20 visar två korsande väggar i Revit och resulterande elementnät i Robot. I detta fall uppstår problem då väggarna består av två objekt i Revit. Detta tolkas i Robot som om väggarna är fristående, utan att påverka varandra. Om denna Revitmodell skall exporteras till Robot måste väggar som korsar varandra modelleras icke-kontinuerligt, i detta fall som tre väggar.

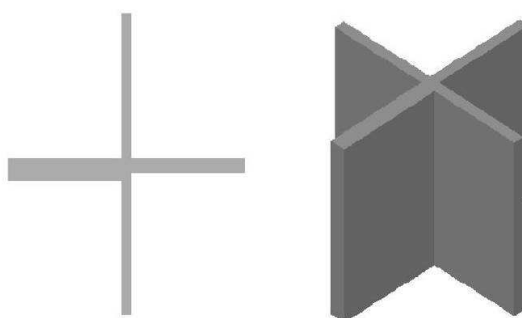
Om fundament modelleras i Revit tolkas dessa som fasta inspänningar i Robot (om inte *not for analysis* markeras i fundamentets egenskaper). Detta gäller såväl pelarfundament som väggfundament. I Revit är det möjligt att lägga in ledade, inspända och fjädrande upplagsvillkor för punkter, linjer och areor. Om andra randvillkor önskas måste de definieras i Robot. Robot stöder en rad randvillkorstyper utöver de ovan nämnda, däribland friktionsupplag, möjlighet att föreskriva förskjutnings- eller rotationsfrihetsgrader samt ickelinjära randvillkor.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

På vilket sätt balkelement är kopplade till sina noder går att ange i Revit. Detta görs genom att ange vilka krafter och moment som inte kan överföras till noden (*Releases*). Denna funktion finns inte för plana element (bjälklag och väggar), de tolkas alltid som fasta inspänningar i Robot. Om andra typer av kopplingar önskas måste detta anges manuellt i Robot. Robot har stöd för en mängd olika kopplingar, både för linjära och plana element.

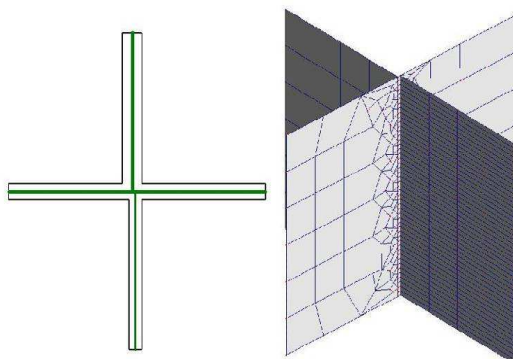
I Revit är det möjligt att ange statiska laster samt att manuellt kombinera dessa i lastkombinationer. Önskas andra typer av laster måste de definieras i Robot.

Geometrin bör byggas så att den ger en beräkningseffektiv modell



Figur 21: Korsande väggar med olika tjocklek. Till vänster: väggarna i plan: Till höger: väggarna i perspektiv. Båda bilderna är från Revit.

Figur 21 ovan visar en Revitmodell där väggar med olika tjocklekar möts. Väggar analyseras med skalelement i väggens medelyta (se vänster del av Figur 22). I detta exempel tvingar medelytornas excentricitet fram ett onödigt litet nodavstånd i området där väggarna möts (se vänster del av Figur 22), och således en onödigt liten elementstorlek. Om väggmöten av detta slag återupprepas på många platser i byggnaden ökar antalet frihetsgrader i strukturen med en orimlig beräkningstid som följd. Vid ett visst antal frihetsgrader blir datorkapaciteten i en vanlig arbetsstation otillräcklig.



Figur 22: Till vänster: Väggarnas analytiska representation i plan, tjock linje = väggarnas medelytor i Revit. Till höger: Resultande elementindelning i Robot.

Problemet kan lösas genom att manipulera väggarnas medelytor så att de möts i ett plan. Revit har en automatisk funktion för detta ändamål.

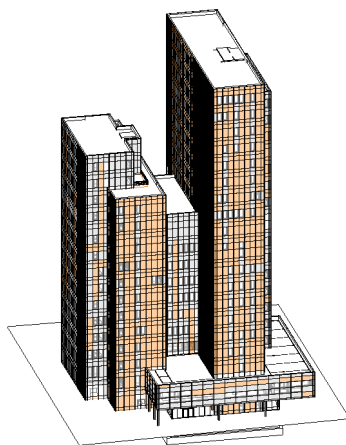
Som exemplen visar är det nödvändigt att införa imaginära element (*Rigid Links*) eller manipulera objektens medellinjer och medelplan för att få en fungerande FE-modell. Man får helt enkelt acceptera att strukturens fysiska representation och analytiska representation skiljer sig åt. Förenklingarna bör göras med förvissandet om att de avspeglar strukturen på ett sätt så att skadliga lasteffekter inte försummas. Förenklingar skall därmed göras på den säkra sidan. Behovet av att manipulera den analytiska modellen är en effekt av FE-formuleringen för skal- och balkelement. I den fysiska modellen är balkar, pelare, väggar och bjälklag volymer. I FE-formuleringen representeras de fysiska objekten av linjer eller plan. Som exemplen ovan visar är det just i övergången mellan fysisk modell och analytisk modell som geometrin kan ställa till problem.

Om problem uppstår när volymer skall göras om till linjer och ytor, varför inte använda solidelement i beräkningsmodellen? För att få rätt böjstyvhet och spänningar i en struktur som är modellerad med solidelement måste många solidelement användas (för balkar och pelare i bredd och höjd, för bjälklag och väggar i höjd respektive djup) (14). Detta skulle leda till en drastisk ökning av antalet frihetsgrader i strukturen, med en lång beräkningstid som följd. Det är därför inte rimligt att använda solidelement när en hel byggnad skall analyseras med finita elementmetoden.

5.3 Arkitekturtrad Revitmodell som underlag för beräkningar

5.3.1 Ideon Gateway – Bakgrund

Byggnaden består av två huskroppar, en kontorsdel med 19 våningar samt en hotelldel med 14 våningar. Huskropparna är sammanbyggda i plan 0-12. Byggnaden skall uppföras på Ideonområdet i norra Lund.



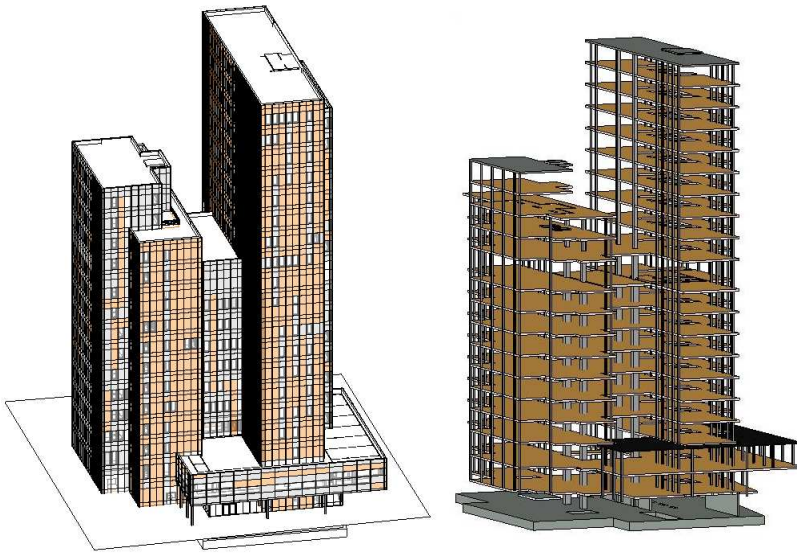
Figur 23: A-modell av Ideon Gateway.

Byggnadsdelarna med 19 respektive 14 våningar stabiliseras för krafter i tvärled med 4 tvärgående betongväggar varav två går samman med kärnan och två är fristående vid gavlarna. Byggnaden stabiliseras mot krafter i längsled med respektive kärnas bakre vägg. Längsgående krafter på sammanbindningsdelen fördelas ut till respektive kärna.

5.3.2 Metod 1: Göra A-modellen beräkningsbar

Det finns alltid en osäkerhet då en befintlig modell används som grund för beräkningar. I detta fall har den dessutom modellerats av någon som inte har som arbetsområde att beakta hur modellen beter sig vid export till ett beräkningsprogram. Detta innebär att hela modellen måste kontrolleras avseende den analytiska modellens giltighet samt beräkningsbarhet.

Den strukturella vy som framträder från arkitektens ursprungliga Revitmodell visas i Figur 24. Denna innehåller enbart de delar som av arkitekten markerats som bärande. Den analytiska representationen av dessa element är det som hade exporterats till en beräkningsprogramvara om inga modifikationer gjorts av modellen.



Figur 24: Bärande objekt i A-modellen. Bild från Revit.

Nedan följer en tabell över de olika problem och åtgärder som vidtagits för att korrigera modellen till ett beräkningsbart skick.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Problem	Åtgärd	Omfattning
Det framgår att hela det bärande systemet ej markerats som bärande i Revit (Figur 24).	De väggar och pelare som enligt ramhandlingen ska vara bärande, ändras till att vara det även i Revitmodellen.	Det som tog tid var att dölja de delar av modellen som var ovidkommande, för att komma åt den bärande stommen. Detta arbete gjordes svårare av att den fullständiga modellen var tung att arbeta med, till viss del beroende på datorns begränsade kapacitet.
Vid inspektion av den analytiska modellen upptäckts att många väggars beräkningsplan ej ansluter till ovanliggande bjälklag och väggar.	Detta åtgärdas genom att beräkningsplanet för bjälklaget och väggen manuellt definieras att ligga i ett visst plan istället för att låta Revit försöka anpassa detta automatiskt.	Det mest omfattande arbetet vad gäller att åtgärda modellen. Detta beror till viss del på att författarna ej var förtrogna med programmet sedan tidigare.
Modellen saknar kantbalkar som håller upp HD/F-bjälklagen.	Detta åtgärdas genom att manuellt lägga in balkar.	Relativt snabbt att åtgärda eftersom våningsplanen är repetitiva.
Arkitekten har valt att låta pelare gå ända från markplan till takplan. Vid export till ett FEM-program innebär detta att genomgående pelare ej anses ansluta till bjälklagen då de inte delar noder.	Pelarna ändras till att gå från plan 18 till plan 19. Därefter kopieras pelarna och infogas med kommandot <i>Aligned to Selected Levels</i> till övriga våningsplan.	Relativt snabbt att åtgärda eftersom våningsplanen är repetitiva.
Under arbetets gång noteras att det tillägsprogram som hanterar import från Revit till Robot sporadiskt slutar fungera.	Svårt att avgöra vad detta beror på. Det noteras dock att problemen inte uppstår vid arbete med mindre modeller.	Beroende på frekvens stör det arbetsflödet, samt tar upp mycket tid.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Problem	Åtgärd	Omfattning
De platsgjutna väggarna i konstruktionen som sitter ihop är i vissa fall modellerade till att gå igenom varandra. Detta innebär vid export till ett analysprogram att de ej kommer samverka (se 5.2).	Dela upp alla väggar som går igenom varandra.	Relativt snabbt att åtgärda eftersom våningsplanen är repetitiva. Ett våningsplan modifieras och kopieras till övriga.
Pelare har modellerats med arkitektobjekt som saknar strukturella egenskaper.	Pelare ändras till VKR-rör samt platsgjutna betongpelare C25/30	Relativt snabbt åtgärdat.
A-modellens bjälklag består av objekt med skikten betong-övergjutning-golv. Detta objekt är inte analyserbart.	Bjälklag ändras till platsgjuten betong C25/30 med höjd 265 mm. Håldäck modelleras med enkelspänd platta med egentyngd och skjuvmodul (för att beakta skivverkan) som HD/F-bjälklag.	Snabbt åtgärdat.
Modellen exporteras slutligen till Robot i ett tillstånd som bedöms som beräkningsbart. Beräkningen initieras men avslutas omgående med ett felmeddelande: Problem too big	Vad detta beror på framgår inte av dokumentationen. Det finns separata felkoder för brist på tillgängligt minne, vilket annars hade kunnat tänkas vara orsaken till detta.	Detta innebar tyvärr en återvändsgränd då det inte gick att finna vad detta problem berodde på.

Tabell 3 Sammanfattande resultat av korrigering av Revitmodellens analytiska modell

Denna metod skulle kunna vara ett sätt att samarbeta med arkitekten genom att använda samarbetsfunktionen centralfil. Metoden går ut på att arkitekt och konstruktör arbetar i samma fil med behörighet till olika objekt. Objekt kategoriseras i delmängder (*Worksets*), där varje projektmedlem ges rättigheten att redigera en viss delmängd. I denna metod tilldelas konstruktören behörighet till alla objekt som har en bärande eller stabiliserande funktion.

5.3.3 Metod 2: Göra länkad K-modell beräkningsbar

För att skapa en beräkningsbar Revitmodell används funktionen *Copy/Monitor*. Förfarandet går till som följer:

1. Öppna ett nytt projekt i Revit Structure 2011
2. Under >*Insert*>*Link*>*Link Revit* välj arkitektens rvt-fil
(För att säkerställa det gemensamma koordinatsystemet bör A-modellen läsas med funktionen *pin*)
3. >*Collaborate*>*Copy/Monitor*>*Select Link*. Klicka på A-modellen
4. Välj objekt som skall kopieras till konstruktörens rvt-fil

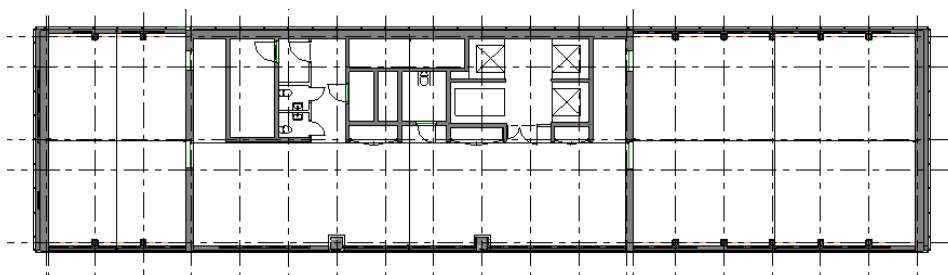
På detta sätt kopieras arkitektens stomlinjer (*grids*), våningshöjder (*levels*) och pelare på ett sådant sätt att de är kopplade i A- och K-modell. Om arkitekten flyttar en stomlinje larmar Revit om att aspektmodellerna skiljer sig åt.

Vid kopiering av våningshöjder är det möjligt att specificera en förskjutning, vilket kommer till nytta eftersom arkitekten sätter ut höjder efter färdigt golv och konstruktören efter ovankant övergjutning.

Då arkitektens pelare löper över flera våningsplan kopieras pelarna med inställning *Split Columns by Levels* för att erhålla pelare med våningshöjd, denna pelaregenskap är nödvändig för att få en fungerande FE-modell.

Vid kopiering av objekt från en A-modell är det inte säkert att arkitektens objekt härstammar från konstruktörsspecifika objektsfamiljer. Därför används en kopieringsinställning som innebär att arkitektobjekt översätts till konstruktörsobjekt. I detta fall översattes arkitektens pelare enligt:

S_rektangulär pelare 300x300 (A-objekt) → VKRK300x300x12.5 S355 (K-objekt)
S_rektangulär pelare 800x800 (A-objekt) → 800x800 mm² C25/30 (K-objekt)

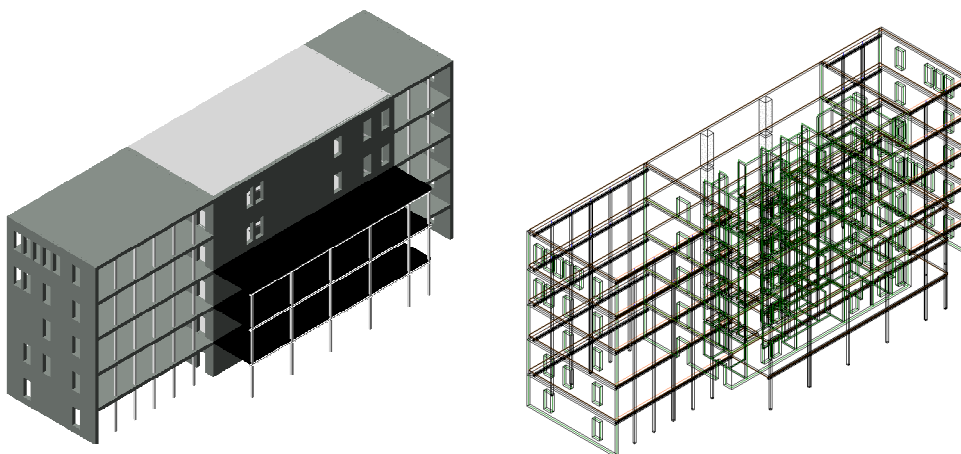


Figur 25: Plan 19 med A-modellen som underlag för modellering av väggar och bjälklag.

För att begränsa modellens storlek modelleras endast väggar, bjälklag och kantbalkar på plan 15-19. Detta görs genom att modellera geometrin på plan 19 med A-modellen

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

som underlag, se Figur 25 ovan. Då våningsplanen är repetitiva, så när som på fönsteruppsättningar, förflyttas geometrin på plan 19 till övriga våningsplan genom att kopiera elementen (*Copy to Clipboard*) och sedan infoga dem på resterande våningsplan (*Paste>Aligned to Selected Levels*). Därefter skapas dörr- och fönsteröppningar samt schakt enligt geometrin i A-modellen.

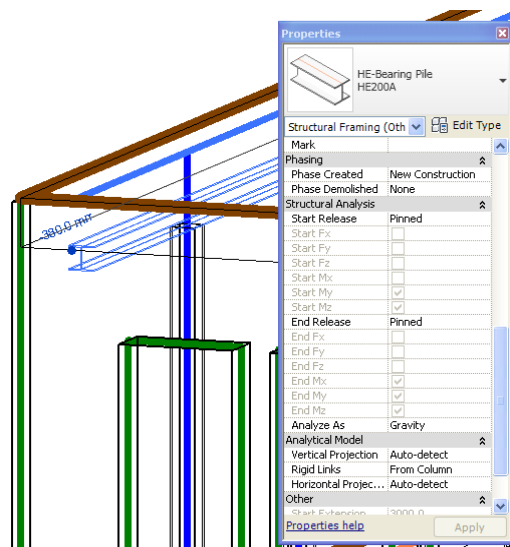


Figur 26: K-modell av Ideon Gateway i Revit. Till höger: fysisk representation. Till vänster: analytisk representation.

Modellens fysiska och analytiska geometri återges i sin helhet i Figur 26. De mörkgråa bjälklagen skall enligt ramhandlingen utgöras av HD/F-bjälklag. Dessa går att modellera i Revit, men dess analytiska representation utgörs av balkelement vilket leder till att bjälklagets skivverkan försummas. För att efterlikna egenskaperna hos ett håldäcksbjälklag modelleras dessa som ett användardefinierat bjälklag med skjivmodul och egentyngd motsvarande ett håldäcks.

Eftersom byggnaden inte är analyserad och objekten inte dimensionerade, är det sannolikt att objektens geometri kommer att revideras. Därför är det viktigt att i så stor utsträckning som möjligt använda parametriska regler som anger relationer mellan objekt. Som exempel kan nämnas att pelare och väggar som ansluter till ett bjälklag från undersidan bör modelleras upp till våningsplanet och förskjutas nedåt genom att använda Revitfunktionen *>Attach to>Top*. Pelare och väggar som ansluter till bjälklag från ovasidan ska modelleras ner till våningsplanet och anslutas till bjälklag med funktionen *>Attach to>Base*. Dessa inställningar medför att pelarnas fysiska representation korrigeras automatiskt om bjälklagshöjden ändras. På detta sätt kan många av de geometriska revideringar som görs i senare skeden automatiskt passas in i modellen av programvaran.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag



Figur 27: Detalj av den analytiska representationen och objektens egenskaper för en kantbalk.

När geometrin är modellerad återstår att kontrollera den analytiska representationen. Det är ofta önskvärt att modellera alla pelar- och balkinfästningar som ledat infästa. Detta görs genom att markera samtliga balk- och pelarobjekt och i dess egenskaper markera start- och slutkopplingar enligt Figur 27. Det går inte att ange kopplingar mellan bjälklag och väggar i Revit, utan de blir automatiskt fast inspända vid export till Robot. Kopplingarna kan ändras i Robot.

Som Figur 27 visar väljs bjälklagets ovkant som referensplan i den analytiska modellen. Om Revit lämnas att automatiskt justera den analytiska modellen medför detta att balkens medellinje förskjuts en bjälklagshöjd uppåt och pelarens medellinje förlängs en balkhöjd plus en bjälklagshöjd uppåt för att ansluta till bjälklagets analytiska plan.

Denna metod, att länka in A-modellen som en referens, kan ses som ett exempel på samarbetsmetoden *Länkning*. Eftersom A-modellen från början innehöll en bärande stomme kommer denna metodik innebära att stommen får en dubbel representation när arkitektens och konstruktörens aspektmodeller skall samordnas. Därför bör arkitekten i detta fall ersätta stommen i sin egen modell med en länk till konstruktörens aspektmodell (jämför steg 1-2 ovan). På detta sätt får konstruktören och arkitekten full kontroll över sina egna aspektmodeller samtidigt som de kan övervaka ändringar i varandras modeller.

5.3.4 Slutsats: Jämförelse mellan Metod 1 och Metod 2

Vid metod 1 krävs en omfattande validering av modellen. Vissa problem kan undvikas genom att specificera ett antal krav på den levererade modellen. Dessa krav bör vara anpassade för att inte innebära för mycket merarbete för arkitekten. Att manuellt gå igenom modellen för att dölja alla element som ej är relevanta är särskilt tidsödande. Om arkitekten kan klassificera element så att de på ett enkelt sätt går att visa/dölja, skulle det innebära tidsvinster för konstruktören som ska validera modellen. Det gör modellen mer överskådlig, men även smidigare att arbeta med då datorn slipper rita upp ovidkommande detaljer. Detta är i huvudsak aktuellt om arkitekt och konstruktör ska arbeta i samma modell. Används istället länkning kommer konstruktören skapa sin modell utgående ifrån planvyer vilket gör att modellen trots alla arkitektaspekter blir snabb att arbeta med.

Slutsatsen som kan dras efter utvärderingarna är att en arkitekturitad Revit-modell ej bör anses vara beräkningsbar i sitt originalskick och att ett visst mått av arbete måste utföras för att validera och åtgärda brister i den. Arbete i en och samma modell medför att konstruktören måste ändra de strukturella aspekterna av arkitektens objekt. Eftersom konstruktören i huvudsak är intresserad av de strukturella aspekterna finns stor risk att de egenskaper arkitekten anser viktiga går förlorade då konstruktören uppdaterar eller byter ut element för att tillgodose de strukturella kraven. Ansvarsfördelningen blir även svår att fastställa vid detta förfarande.

Det bedöms mer fördelaktigt att istället låta konstruktören upprätta en egen strukturell Revitmodell genom att länka in arkitektens och använda denna som underlag. På så sätt erhåller konstruktören full kontroll över de strukturella aspekterna. Länkningen innebär samtidigt att konstruktören kan se de arkitektoniska aspekterna av byggnaden, men utan att vare sig kunna eller behöva ändra i dem. Arkitekten föreslås länka in konstruktörens modell i sin egen för att utifrån denna kunna modifiera sin egen för att rymma de strukturella elementen. Detta innebär att ansvarsfördelningen blir tydligare och lättare att fastställa. Arbetssättet innebär att arkitekt och konstruktör skickar modell-filer till varandra, liknande dagens arbetssätt, som de sedan kan länka in i sin modell.

5.4 Informationsflöde mellan Revit och beräkningsprogramvaror

IFC

Den IFC-vy som är aktuell för överföring till och från beräkningsprogramvaror, Structural Analysis View, stöds tyvärr inte av de marknadsledande modelleringsprogramvarorna, i aktuellt fall Revit. De har istället implementerat stöd för vyn Coordination View, vilken ej innehåller modellens analytiska linjer eller hur dessa är kopplade till varandra. Beräkningsprogramvaror som importerar IFC-filer får i detta fall översätta den fysiska representationen som exporteras, till en analytisk modell, antingen genom intelligenta gissningar eller genom användarens försorg.

Arbetet med att bygga upp en korrekt analytisk modell i modelleringsprogrammet går alltså förlorat vid användandet av IFC-export med Revit i nuläget.

Fram till att modelleringsprogramvarorna implementerar stöd för Structural Analysis View är alternativet är att använda ett tilläggsprogram för att exportera den analytiska modellen. Detta kräver att ett tilläggsprogram skrivs för varje beräkningsprogram som BIM-modelleringsprogramvaran ska kunna skicka information till. I följande utvärdering testas IFC exporten följt av en utvärdering av de tilläggsprogram som skrivits för Revit.

5.4.1 Exportera Revitmodellen till Robot

Export genom att använda IFC

Autodesk Revit är certifierat för export av IFC-filer enligt IFC2x3 Coordination View. Revit har även stöd för import av IFC-filer, men är ej certifierat (5).

Autodesk Robot har stöd för import av IFC-filer av version IFC2x och IFC2x2.

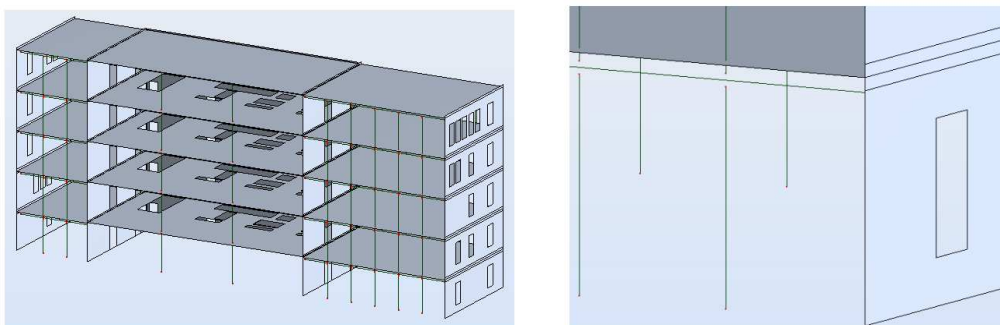
För att utvärdera hur denna överföring fungerar sparas Revitmodellen som en IFC-fil som därefter öppnas i Robot. I Revit går det att välja om filen ska sparas i version 2x2 eller 2x3. Båda fallen testas, med samma resultat som beskrivs nedan.

De analytiska linjernas placering och koppling överensstämmer inte med hur de har angetts i Revit (se Figur 28). Detta beror på att den analytiska delen av modellen ej ingår i IFC:s Coordination View, vilket är den vy som stöds av Revit.

De analytiska linjerna för pelare löper längs dess medellinje och sträcker sig från pelarens geometriska start och slutpunkt, så som definierades i Revit. Informationen om att pelarens analytiska linje fortsätter utanför pelarens geometriska utsträckning för att ansluta till balken går alltså förlorat. På samma sätt uppträder balkarnas analytiska linjer i dess medelpunkt, till skillnad från hur den i Revit flyttats för att ligga i höjd med bjälklagets analytiska plan.

Som Figur 28 också visar exporterades de bärande innerväggarna inte alls.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag



Figur 28: IFC-modell i Robot. Till vänster: hela modellen. Till höger: förstoring.

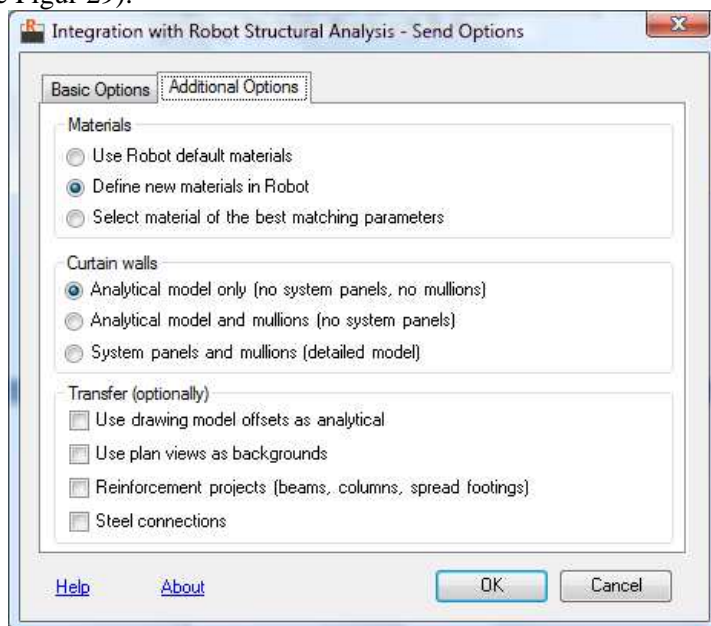
Export genom att använda programtillägg till Revit (Robot Add-in)

Autodesk har tagit fram ett programtillägg till Revit för att möjliggöra överföring av den analytiska modellen till Robot. Något svar på om Autodesk planerar att implementera stöd för IFC Structural Analysis View erhålles ej under arbetets gång.

Tillägget för Robot i Revit presenterar vid start två alternativ:

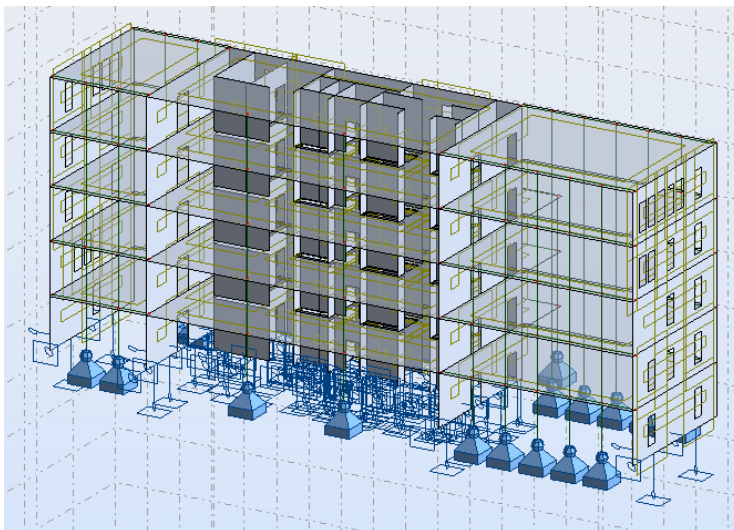
- Exportera modellen till Robot
- Hämta/uppdatera modellen från Robot

Vid export kan hela eller delar av modellen exporteras. För att exportera en del av modellen markeras den önskade delen innan export. Vidare går det att ställa in hur material ska hanteras vid överföringen, samt vilka aspekter av modellen som ska överföras (se Figur 29).



Figur 29: Tillägsprogram för export av Revitmodell till Robot.

Modellens utseende efter export till Robot visas i Figur 30.



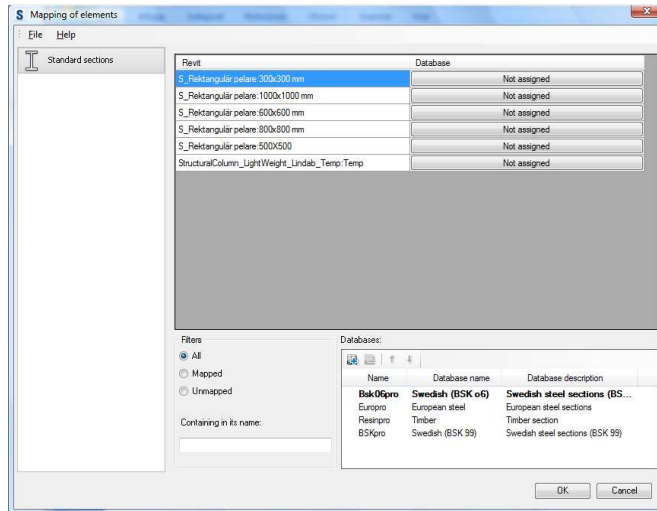
Figur 30: Modell efter export från Revit till Robot.

Nedan följer en genomgång av hur väl exporten av olika delar av modellen fungerar. Sammanfattande resultat av detta återfinns i Tabell 5 i slutet av detta kapitel.

Element

Tillägget översätter automatiskt Revitelement till en motsvarighet i Robot vid export. Om tillägget inte hittar någon motsvarighet i Robot, kan alternativa element väljas i en dialogruta som då presenteras (se Figur 31). Tillägget presenterar vilka element som för tillfället finns tillgängliga i Robot, men det går tyvärr inte att skapa nya element, exempelvis ett betongelement med ett nytt tvärsnitt, i denna dialog. Detta måste istället göras på förhand i Robot innan exporten för att vara tillgängliga i dialogrutan i Revit.

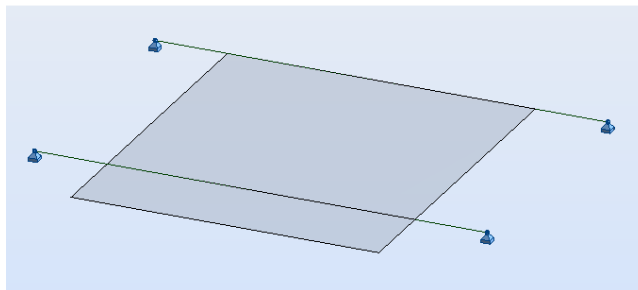
5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag



Figur 31: Mappning av element mellan Revit och Robot.

Bugg vid elementexport

Ett felaktigt beteende upptäcktes vid export av bjälklag upplagda på balkar till Robot. En förenklad modell upprättas för att verifiera beteendet (se Figur 32). Problemet är att Robot betraktar bjälklaget som fristående från balkarna vilket gör att det analytiskt ligger fritt i rymden.



Figur 32: Bjälklag på två balkar.

Om samma konstruktion modelleras direkt i Robot uppstår inte samma problem. Det verkar därför rimligt att anta att felet uppstår vid exportförfarandet.

I den ursprungliga modellen innebar denna bugg att balkar ej blev belastade av bjälklagen som var upplagda på dem, varför de blev underdimensionerade.

Autodesk har kontaktats angående buggen. De verifierar det felaktiga beteendet och meddelar att fallet skickats vidare till utvecklarna för att åtgärdas. En tillfällig lösning på problemet anges vara:

- Spara Robotmodellen till fil.
- Öppna filen med "Repair Mode" ikryssad.

Detta ska göra att Robot reparerar modellen till att fungera korrekt.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Denna åtgärd fungerade för den förenklade modell som upprättades och skickades till Autodesk. På den ursprungliga utvärderingsmodellen fungerade det ej, utan reparationen medför här att modellen blir inaktiv och ej går att interagera med.

Material

Vid utvärderingen skapas ett nytt material i Revit med parametrar motsvarande ett HD/F-bjälklag. Vid export till Robot följer ej dessa parametrar med.

Vid export av element med material ingående i "standardbiblioteket" i Revit verkar materialparametrarna överensstämma efter exporten.

Laster

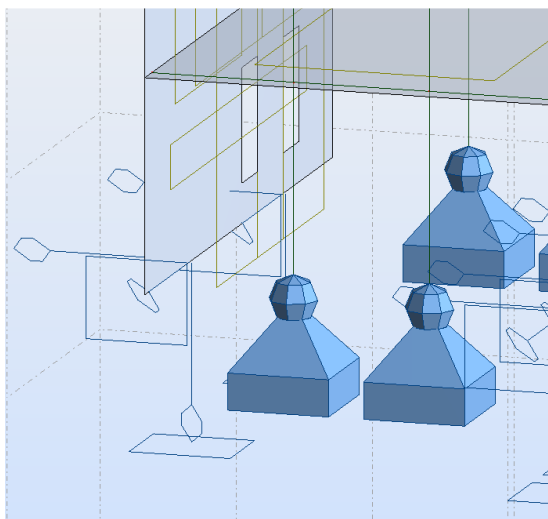
Laster som definieras i Revit exporteras korrekt till Robot.

Lastkombinationer

Även om det rent tekniskt är möjligt att definiera lastkombinationer i Revit, är denna funktion i det närmaste oanvändbar. Exempelvis krävs att fönstret för inmatning stängs ner och öppnas upp igen för varje nydefinierad lastkombination om den överhuvudtaget ska synas i listan.

Upplag

Upplag som definieras i Revit exporteras korrekt till Robot. Grundplintar exporteras som fast inspända upplag till Robot. Upplagens utseende skiljer sig från hur de skulle sett ut om de skapats i Robot direkt (se Figur 33).



Figur 33: Upplag i Robot.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Kopplingar

Kopplingar mellan element exporteras korrekt från Revit till Robot. Revit saknar dock stöd för kopplingar mellan utbredda element som väggar och bjälklag. Vid export finns även möjlighet att låta tillägget ändra samtliga ledade kopplingar i modellen till fast inspända (*change Pinned-Pinned to Fixed-Fixed*). Det omvända är ej möjligt.

Systemlinjer

Systemlinjer exporteras inte korrekt från Revit till Robot i de modeller som användes vid utvärderingen. Det beror på att det av någon anledning upprättas dubbla uppsättningar av koordinater varav den ena skickas till Robot. Autodesk har kontaktats och meddelar att de utvecklarna kontaktats för att åtgärda problemet.

Bugg vid export av systemlinjer

Följande egendomlighet uppdagades (Tabell 4).

	Revit		Robot
Modell vid metod 1			
Översta våningsplan	Plan 19	→	Plan 0
Understa våningsplan	Plan 0	→	-
Modell vid metod 2			
Översta våningsplan	Plan 19	→	Plan 15
Understa våningsplan	Plan 15	→	Plan 10

Tabell 4: Export av stomlinjer.

Det ter sig alltså som att det plan där det lägsta belägna bjälklaget befinner sig i Revit, blir det plan som det översta bjälklaget hamnar på i Robot.

Om inga nya element skapas i Robot fungerar återföringen trots detta korrekt. Problem uppstod enbart om nya element eller upplag skapades i Robot. Dessa hamnade då ej på motsvarande plats i Revitmodellen.

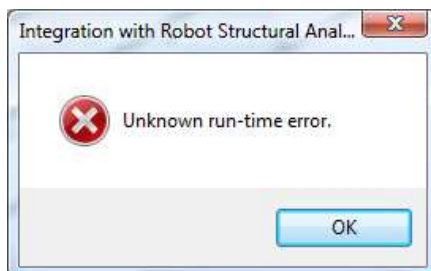
Autodesk har kontaktats och bekräftat felet med de två olika koordinatsystem som uppkommer vid exporten. De arbetar för att lösa problemet.

Armering

Enligt Autodesk ska det vara möjligt att exportera armering modellerad i Revit till Robot. Denna funktion fungerar ej i försöken.

Bugg vid export av armering

I de fall Revitmodellen innehåller armering avbryts exporten med ett felmeddelande (Figur 34).



Figur 34: Fel vid export av armering.

Om endast ett element markeras och exporteras med tillägget "Reinforcement Design" istället, fungerar exporten av armering till Robot. Vid detta förfarande exporteras inte hela modellen, varför lastnedräkningen ej kan genomföras och följaktligen inte kan användas som ingångsdata vid dimensioneringen.

Uppdatering

Det finns ingen möjlighet att dynamiskt uppdatera Robotmodellen med ändringar som gjorts i Revit. Ta som exempel att våningshöjderna på samtliga plan ändrats i Revit. Denna ändring ska införas i Robot. I Robot har det i sin tur gjorts en rad ändringar, som skulle gå förlorade om Revitmodellen exporterades igen. Det hade då varit önskvärt om ändringarna i Revit (våningshöjderna) kunnat införas dynamiskt, d.v.s. utan att behöva kassera de ändringar som gjorts i Robotmodellen.

Detta går till viss del att lösa genom att först föra tillbaka Robotmodellen till Revit. Detta sker dynamiskt i meningen att ändringar gjorda i Robot införs ovanpå de ändringar som gjorts i Revitmodellen (de ändrade våningshöjderna består). Dock överförs inte alla aspekter av Robotmodellen varför ett visst mått av information går förlorad vid en sådan överföring. Efter detta kan den uppdaterade Revitmodellen slutligen exporteras till Robot, vartefter arbetet där kan fortskrida.

Nedan följer en sammanfattande tabell över resultaten av överföringsmöjligheterna (Tabell 5).

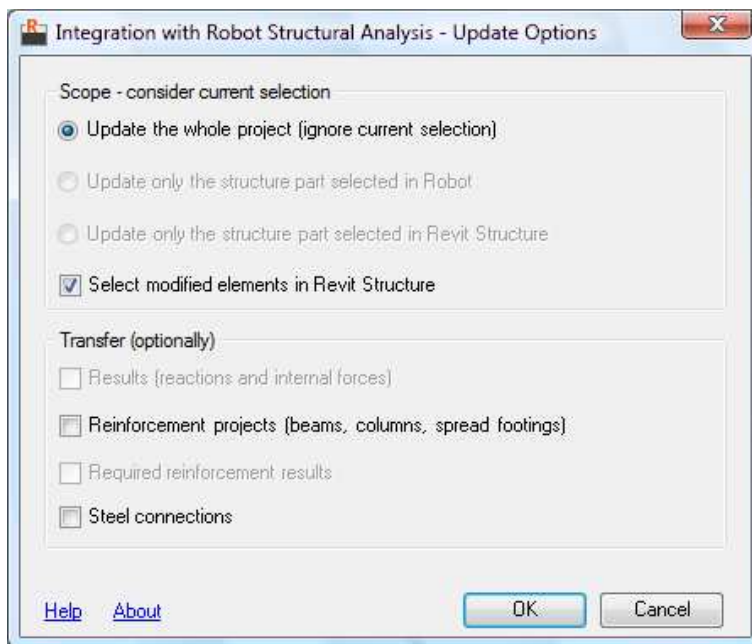
5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

	Revit → Robot
Element	Element exporteras korrekt (med undantag, se bugg ovan). Finns ingen motsvarighet till elementet i Robot, finns möjligheten att välja hur det ska översättas.
Material	Materialparametrar exporteras ej korrekt för alla fall.
Laster	Exporteras korrekt.
Upplag	Exporteras korrekt.
Kopplingar	Exporteras korrekt.
Systemlinjer	Exporteras ej korrekt.
Armering	Fungerar ej. Tilläggsprogrammet hänger sig.
Uppdatering	Vid export uppdateras ej Robotmodellen utan ersätts i sin helhet.

Tabell 5: Sammanfattning av informationsflödet från Revit till Robot.

5.4.2 Hämta/uppdatera Revitmodell från Robot

Tillägget för Robot har även stöd för att läsa en öppen Robotmodell och föra in den i Revit. Vid hämtningen finns möjligheter att enbart hämta de delar som markerats i modellen, antingen i Robot eller i Revit. Det går även att ställa in om armering och exempelvis resultat från analysen i form av snittkrafter ska överföras (se Figur 35).



Figur 35: Hämta/Uppdatera modell från Robot.

Om modellen från början exporterats från Revit innebär importen att Revitmodellen uppdateras med de ändringar som gjorts i Robot. Detta fungerar genom att alla element, eller objekt, i modellen tilldelats ett unikt ID så att modifikationer av dem kan spåras.

Även andra data, såsom den av Robot framtagna elementindelningen och resultaten från beräkningar kan lagras i Revit. Detta gör att denna information ej går förlorad vid ett arbetsflöde som innebär upprepade överföringar programmen emellan.

En Robotmodell kan även hämtas till en tom Revitmodell. Detta kan utnyttjas om den ursprungliga modelleringen skett i Robot och man vill använda detta som utgångspunkt för vidare detaljering och ritningsframställning i Revit.

Element

De element som ingår i utvärderingsmodellen, och som därmed redan finns specificerade i Revit, uppdateras korrekt vid ändringar i Robot. Om det däremot skapas nya element i Robot överförs de felaktigt på grund av att koordinatsystemen skiljer sig åt i Revit och Robot (se *Systemlinjer*).

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Material

Överföring av material som definieras i Robot till Revit har ej implementerats.

Laster

Om en last definieras i Revit går denna att exportera till Robot. Om denna last ändras i Robot följer ändringarna inte med tillbaka vid import till Revit. Laster som däremot definierats enbart i Robot lagras i Revitmodellen men är ej synliga. På grund av detta rekommenderas att samtliga laster definieras i Robot om man vill ha möjlighet att modifiera dessa i Robot.

Upplag

Punktupplag som definierats i Robot överförs korrekt men presenteras som fundament istället för upplag i Revit. Linjeupplag överförs ej.

Kopplingar

Kopplingar överförs korrekt. Kopplingar mellan utbredda element som väggar och bjälklag stöds ej av Revit, men informationen om dem lagras i Revitmodellen vid export och finns kvar vid upprepad import/export.

Systemlinjer

Ej implementerat.

Armering

Robot har funktioner för att dimensionera erforderlig mängd armering i betongkonstruktioner. Resultatet i form av armeringsmängd för respektive konstruktionselement ska gå att överföra från Robot till Revit, och där fungera som underlag för armeringsmodelleringen. Vid de försök som gjorts har detta förfarande ej fungerat. Vidare ska det vara möjligt överföra den armering som gjorts i Revit till Robot, där Robot sedan verifierar att armeringen är tillräcklig. Inte heller detta fungerade vid försöken.

Armering hos pelare importerar korrekt från Robot.

Armering hos balkar importerar korrekt från Robot.

Import av armering hos bjälklag stöds ej av tillägget.

Nedan följer en sammanfattande tabell av resultaten (Tabell 6).

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

	Revit ← Robot
Element	Element som definieras i Robot hamnar fel i Revit (se <i>Systemlinjer</i>). Element som definierats i Revit från början överförs korrekt.
Material	Överförs ej.
Laster	Laster definierade i Robot överförs och lagras i Revitmodellen, men kan inte modifieras eller visas i Revit. Uppdaterar ej laster som skapats i Revit.
Upplag	Punktupplag som definierats i Robot överförs ej korrekt, de hamnar på fel plats och presenteras som fundament istället för upplag i Revit. Linjeupplag överförs ej.
Kopplingar	Överförs korrekt.
Systemlinjer	Överförs ej
Armering	Överförs korrekt för pelare och balkar. Import av armering för bjälklag stöds ej.
Uppdatering	Uppdatering av öppen modell i Revit sker korrekt (undantag, laster).

Tabell 6: Sammanfattande resultat av informationsflödet från Robot till Revit.

5.4.3 Exportera Revitmodellen till StruSoft 3D Structure

Exportera genom att använda IFC

Autodesk Revit är certifierat för export av IFC-filer som uppfyller IFC2x3 Coordination View.

3D Structure har stöd för import av IFC Structural Analysis View, samt IFC Coordination View. I mejlkorrespondens med företaget beskriver de stödet på följande sätt (9).

Architectural View (Coordination View -> FEM-Design analysmodell)

Reference Geometry View (Coordination View -> FEM-Design solidmodell)

Structural Analysis View (Structural Analysis View -> FEM-Design analysmodell)

Av dessa anges stödet vara bäst för Structural Analysis View.

Structural Analysis View stöds alltså inte av Revit, varför användandet av IFC för överföring begränsas till Coordination View. För att utvärdera hur väl implementation av denna import fungerar sparas Revitmodellen som en IFC-fil som därefter öppnas i 3D Structure. Vid utvärderingen fungerar inte importen av denna fil till i 3D Structure alls.

Exportera genom att använda programtillägg för Revit (3D Structure add-in)

På grund av att Autodesk inte lägger in Structural Analysis View i sina filer har StruSoft utvecklat ett tillägg för Revit som exporterar den analytiska modellen direkt till 3D Structure (9).

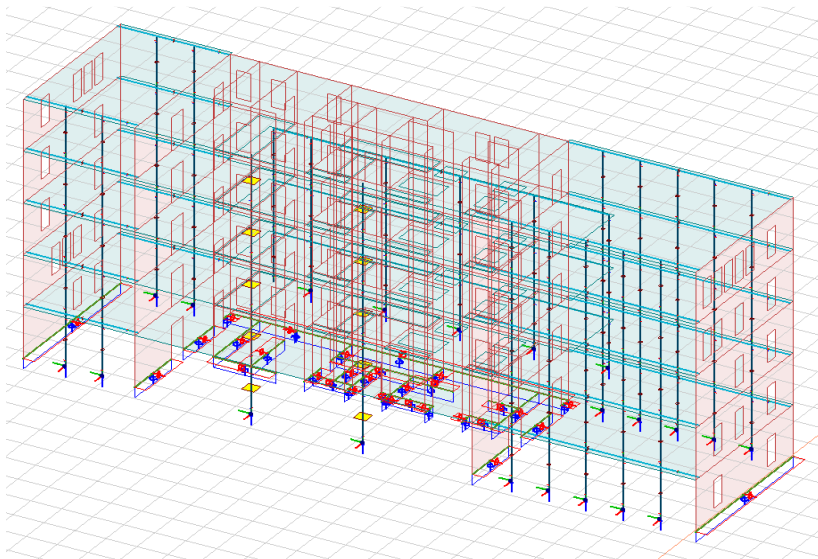
StruSofts tillägg stödjer för närvarande inte återföring av modeller till Revit. Enligt mejlkorrespondens med StruSoft är detta under utveckling för inkludering i nästa version av tillägget (9). Något fastslaget datum för detta finns inte i nuläget.

Genom att markera önskad del i Revitmodellen innan export, exporteras endast denna del av modellen. Markeras inget, exporteras hela modellen.

I inställningarna för tillägget går det att ange:

- Vilka typer av element och aspekter av modellen som ska exporteras.
 - Bjälklag
 - Pelare
 - Balkar
 - Väggar
 - Fundament
 - Upplagsvillkor
- Om element ska exporteras även om materialet för dem ej definierats
- Om tillägget ska varna då materialet för ett element ej definierats

Sammanfattande tabell över hur exporten fungerar återfinns i slutet av detta kapitel (Tabell 7). Hur modellen ser ut i 3D Structure efter export visas i Figur 36.



Figur 36: Modell efter export från Revit till 3D Structure.

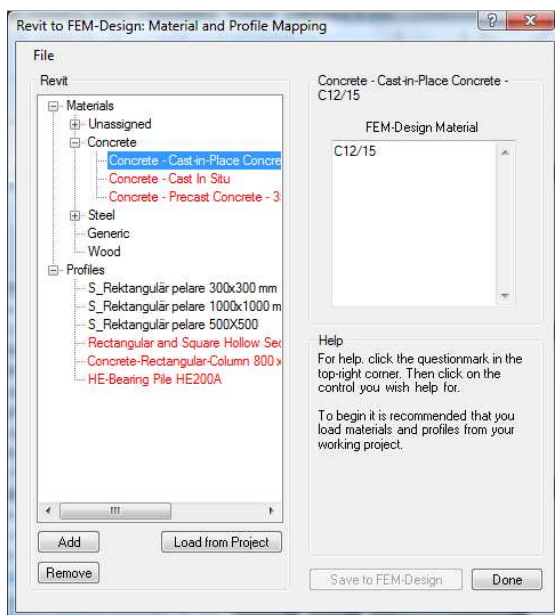
5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Element

Innan export definieras hur element i Revit ska översättas (mappas) till element i 3D Structure (se Figur 37). Detta måste göras för alla ingående element. När det väl gjorts en gång kan denna översättningslista sparas till 3D Structure, så att det inte behöver göras om varje gång.

Material

Innan exporten definieras hur material i Revit ska översättas (mappas) till material i 3D Structure. De material som finns att tillgå i 3D Structure finns inte listade, utan måste skrivas in manuellt. Det upplevs oanvändarvänligt, då materialet först måste sökas upp i 3D Structure för att sedan manuellt skrivas in i Revit-tillägget, och innebär dessutom en risk att skriva fel. Enligt StruSoft (15) kommer detta förfarande ändras till nästa version av tillägget. I Figur 37 visas att materialet ”Concrete – Cast in place concrete – C12/15” ska översättas till materialet ”C12/15” i 3D Structure. Detta måste göras för samtliga i modellen ingående material.



Figur 37: Mappning mellan material i Revit och 3D Structure.

Laster

Export av laster stöds ej av tillägget. Enligt StruSoft ska detta eventuellt implementeras till nästa version av tillägget (15).

Upplag

Upplag exporteras korrekt.

Kopplingar

Kopplingar exporteras korrekt.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Armering

Export av armering stöds ej av tillägget. Det finns inga omedelbara planer på att införa stöd för detta enligt StruSoft (15).

Uppdatering

Då modellen exporteras från Revit ersätts modellen i 3D Structure i sin helhet.

Nedan följer en sammanfattande tabell över exportmöjligheter från Revit till 3D Structure (Tabell 7).

	Revit → 3D Structure	Revit ← 3D Structure
Element	Element exporteras korrekt.	Stöds ej. Planer finns att införa detta i framtiden (9).
Material	Material exporteras korrekt.	
Laster	Stöds ej av tillägget. Enligt StruSoft ska detta implementeras till nästa version.	
Upplag	Exporteras korrekt.	
Kopplingar	Exporteras korrekt.	
Systemlinjer	Stöds ej.	
Armering	Stöds ej av tillägget.	
Uppdatering	Vid export från Revit uppdateras ej modellen utan ersätts i sin helhet.	

Tabell 7: Sammanfattande resultat av export från Revit till 3D Structure.

5.4.4 Slutsatser och jämförelser gällande export-/importförfarandet

Slutsatsen är att Robots implementation av tilläggsprogrammet stödjer fler funktioner än tillägget för 3D Structure. Det är dock många funktioner i Robots implementation som ej fungerar som avsett, vilket gör att arbetsflödet ej blir tillförlitligt utan att ha dessa felaktiga beteenden i åtanke. Detta gäller särskilt buggen som gör att bjälklag upplagda på balkar ej överförs korrekt. Gällande 3D Structure fungerar samtliga implementerade funktioner som avsett, men arbetsflödet blir mer begränsat av att vissa överföringsmöjligheter saknas. Enligt StruSoft kommer exempelvis återföring av modellen till Revit implementeras till nästa version av tillägget.

Det är med dagens programvaror ej möjligt att uppnå en sann BIM-process vid projekteringen. För att uppnå detta krävs att:

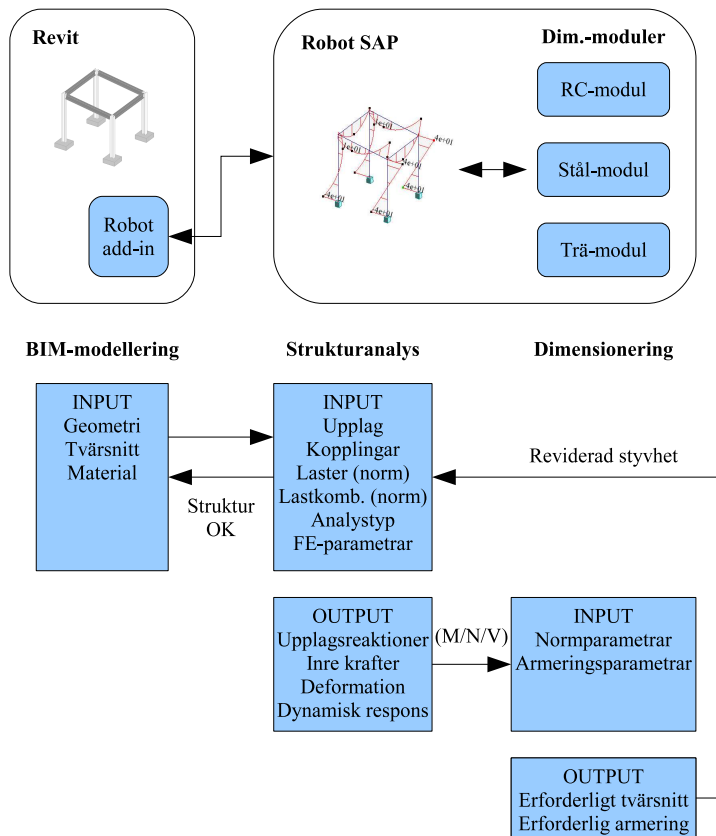
- Den information som behövs för att utföra analyser på modellen ska kunna lagras i BIM-modellen och överföras till beräkningsverktygen.
- Den information som genererades av beräkningsverktygen ska kunna överföras från beräkningsprogramvaran och lagras i BIM-modellen.

Dessa två krav är i nuläget ej helt uppfyllda. Trots detta finns det vinster i att använda en BIM-modelleringsprogramvara för att framställa den modell som beräkningar utförs på. Det leder för det första till en bättre koppling mellan den modell analysen utförts på och de ritningar som slutligen produceras. BIM-modelleringsprogramvarorna är dessutom användarvänligare vad gäller själva modelleringen vilket kan spara tid. Genom att uppdatera den modell som ursprungligen skapats med resultaten av dimensioneringen undviks arbetet med att bygga modellen från grunden igen.

Arbetet i analysprogramvaran kan tydligare avgränsas till beräkningar och inmatning av beräkningsspecifik information, exempelvis upplagsvillkor och kopplingar, och mindre till ren modellframställning. Detta innebär att konstruktören spenderar mer tid med att modellera i den programvara som sedan kommer användas för ritningsframställning, vilket gör att denna färdighet utvecklas bättre.

5.5 Analys och dimensionering i Autodesk Robot SAP

Robot Structural Analysis Pro 2011 är i grunden ett FEM-beräkningsprogram. Till detta följer ett antal normbaserade dimensioneringsmoduler. Dessa kan hämta geometri, material och tvärsnittsdata från modellen, samt resultat från FEM-beräkningarna i form av snittkrafter (se Figur 38). Modellen kan sedan uppdateras utifrån resultatet från dimensioneringsmodulerna. Tack vare att detta kan ske på ett automatiserat sätt blir det enkelt att utföra en verifierande FEM-beräkning, då strukturens styvhet har ändrats som ett resultat av de reviderade strukturelementen.



Figur 38: Dimensioneringsmoduler i Robot.

De normbaserade modulerna beaktar olika instabilitetsfenomen som kan göra att ingående element ej kan belastas till maximal materialhållfasthet, exempelvis vippning, buckling och knäckning.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Följande systemkrav finns för Robot Structural Analysis Pro 2011.

	Systemkrav	Rekommenderat system
Operativ-system	Microsoft Windows Vista Microsoft Windows XP Pro SP2 Microsoft Windows 7	Microsoft Windows XP x64 Pro
Processor	Intel Pentium 4 2 GHz med SSE2, eller motsvarande AMD processor. Multiprocessorsystem och dual core-processorer stöds	Intel® Core 2 Duo 2.4 GHz
Minne	3 GB	8 GB
Hårddisk	5 GB ledigt utrymme efter installation	10 GB ledigt utrymme efter installation
Grafik	1280x1024 24-bitars färger	1600x1200 eller högre Grafikkort med stöd för OpenGL 1.4 eller DirectX 9

5.5.1 Normer som stöds i Robot

I Robot SAP 2011 går det att välja ett antal olika normer vid analys och dimensionering. Tabell 8 visar de normer som är aktuella vid svenska projekt. Notera att i de fall svensk standard (SS-EN) saknas måste dessa normparametrar anges manuellt. Robot innehåller även stöd för andra länders normer, men dessa redovisas ej här.

Begreppsförklaring

EN Europeisk standard

ENV European pre-standard

SS-EN Svensk standard (EN med svensk anpassning)

NAD National Application Document för användning med ENV Eurocodes på nationell nivå

Stål-, aluminiumkonstruktioner	SS-EN 1993-1-2:2005/AC:2009 BSK99
Stålslutningar	EN 1993-1-8:2005/AC:2009
Betongkonstruktioner	EN 1992-1-1:2004/AC:2008
Träkonstruktioner	EN 1995-1:2004/A1:2008

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Geotekniska konstruktioner	EN 1997-1:2008
Lastkombinationer	SS-EN 1990/A1:2005 SC1 (SK1) SS-EN 1990/A1:2005 SC2 (SK2) SS-EN 1990/A1:2005 SC3 (SK3)
Snö-, vindlaster	EN 1991-1-3/4:2005 NAD Sweden (NAD antyder att detta rör sig om en ENV och inte en EN)

Tabell 8 Normer i Robot

5.5.2 Laster och lastkombinationer i Robot

I Robot väljs vilken norm som ska användas för generering av lastkombinationer. Att välja norm innebär att specificera vilka partialfaktorer som ska användas för olika lastfall.

För svenska förhållanden finns den svenska anpassningen av Eurocode, SS-EN 1990, tillgänglig i Robot. Denna finns i tre versioner SC1, SC2 och SC3, d.v.s. de tre olika säkerhetsklasserna vilket beror på att partialfaktorer i Eurocode läggs in på lastsidan.

I Robot anges normer på modellnivå vilket i det här fallet leder till att samma säkerhetsklass måste användas för samtliga ingående element i konstruktionen, om automatisk lastkombinationsgenerering ska användas. Detta är egentligen ett resultat av hur säkerhetsklassernas partialfaktorer i Eurocode appliceras på lastsidan.

Vid automatisk generering av lastkombinationer finns tre olika alternativ:

- Full automatic combination
- Simplified automatic combination
- Manual combination – generate

Innan den automatiska genereringen genomförs går det att ställa in villkor för hur det ska ske. Det går att ställa in vilka laster som kan verka samtidigt och hur de ska kombineras. Vid genereringen används de partialfaktorer som definieras av vald norm. Resultatet av den automatiska genereringen kan presenteras i en tabell över lastkombinationer (Figur 39).

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Combinations/Comp.	Definition
ULS/ 1	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + WIND1*0.409 + SNOW1*0.900 + LR1*0.955 + TEMP1*0.819$
ULS/ 2	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + WIND1*0.409 + SNOW1*0.900 + LR1*0.955$
ULS/ 3	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + WIND1*0.409 + LR1*0.955 + TEMP1*0.819$
ULS/ 4	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + WIND1*0.409 + LR1*0.955$
ULS/ 5	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + SNOW1*0.900 + LR1*0.955 + TEMP1*0.819$
ULS/ 6	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + SNOW1*0.900 + LR1*0.955$
ULS/ 7	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + LR1*0.955 + TEMP1*0.819$
ULS/ 8	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + LR1*0.955$
ULS/ 9	$DL1*1.228 + WIND1*0.409 + SNOW1*0.900 + TEMP1*0.819$
ULS/ 10	$DL1*1.228 + WIND1*0.409 + SNOW1*0.900$
ULS/ 11	$DL1*1.228 + WIND1*0.409 + TEMP1*0.819$
ULS/ 12	$DL1*1.228 + WIND1*0.409$
ULS/ 13	$DL1*1.228 + SNOW1*0.900 + TEMP1*0.819$
ULS/ 14	$DL1*1.228 + SNOW1*0.900$
ULS/ 15	$DL1*1.228 + TEMP1*0.819$
ULS/ 16	$DL1*1.228$
ULS/ 17	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + WIND1*0.409 + SNOW1*0.900 + TEMP1*0.819$
ULS/ 18	$DL1*1.228 + LL1*0.955 + WIND1*0.409 + SNOW1*0.900$

Figur 39: Del av tabell med genererade lastkombinationer.

5.5.3 Finita elementberäkningar i Robot

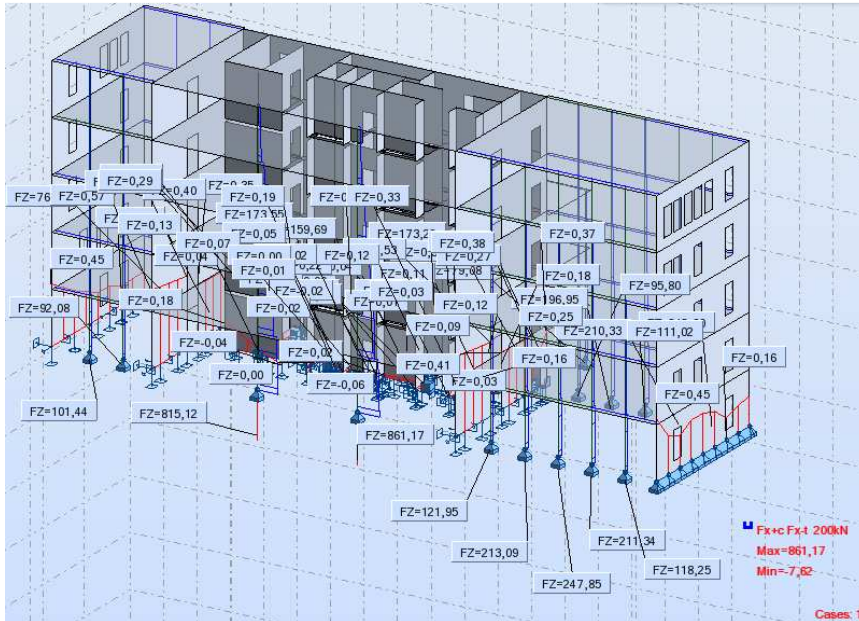
Den analytiska modellen som förs över från Revit består av sammankopplade plan och linjer. Dessa modelleras i Robot med stång-, balk-, platt- och skalelement. Robot har även stöd för andra elementtyper, exempelvis kabelement, men dessa kommer ej behandlas i detta arbete.

Robot kan utföra dynamiska eller statiska beräkningar. De statiska delas in i linjär-elastiska och plastisk-elastiska. Plastisk-elastiska beräkningar kan enbart utföras på stång- och balkelement och de utförs enbart på element som explicit markerats för sådan analys. Det går alltså att utföra en linjär-elastisk analys av huvuddelen av strukturen samt en plastisk-elastisk analys på valda delar av den. Plastisk-elastisk analys ger betydligt längre beräkningstid än linjär-elastisk samt kräver att fler förutsättningar för balken/pelaren specificeras.

Robot har stöd för både första och andra ordningens elasticitetsteori.

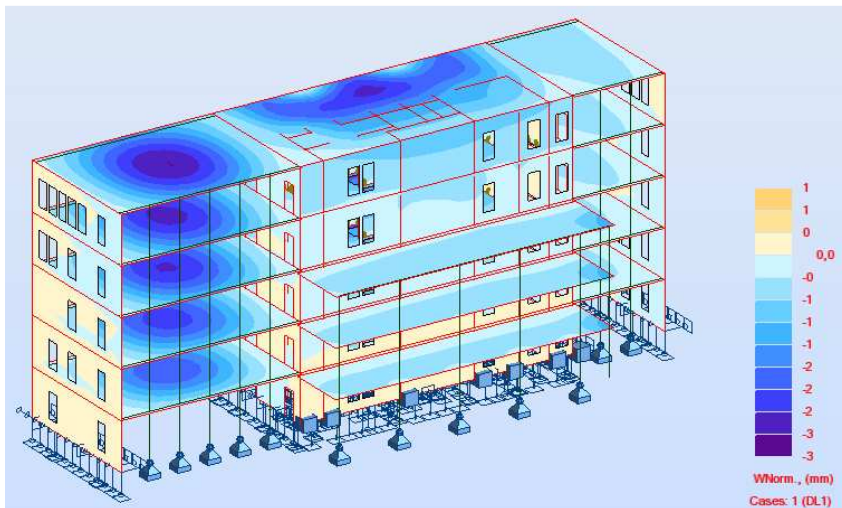
Efter att beräkningar har genomförts i Robot kan resultaten presenteras på olika sätt. Reaktionskrafter kan redovisas i tabeller eller skrivas ut grafiskt (Figur 40).

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag



Figur 40: Grafisk presentation av reaktionskrafter i Robot.

Spänningar och deformationer kan visas i en tabell eller grafiskt som i Figur 41.



Figur 41: Presentation av strukturens deformation i Robot.

5.5.4 Dimensioneringsmoduler i Robot

Dimensioneringsmodulerna i Robot har stöd för svenska armerings-, betong- och stål-kvaliteter.

Dimensionering av armerade väggar och bjälklag

I Robot används skaelement för FEM-beräkningar på väggar och bjälklag. Ett skaelement är en kombination av plattelement (laster vinkelrätt planet) och skivelement (laster i planet). Till dessa skaelement kopplas armeringsberäkningsparametrar beroende på tänkt användning. Det finns tre förinställda sådana:

Konstruktionstyp	Hänsyn tagen till
Armerat bjälklag	Böjande moment
Armerat skaelement	Böjande moment + tryck-/dragspänningar
Armerad vägg	Tryck-/dragspänningar

I Robot finns två olika moduler för beräkning av armerade betongbjälklag.

- Erforderlig armeringsarea (Required reinforcement)
Används för att skapa en översiktlig uppfattning om vilka dimensioner som krävs hos de armerade betongbjälklagen i byggnaden.
- Faktisk armering (Provided reinforcement)
Används för att i detalj specificera armeringen i bjälklagen.

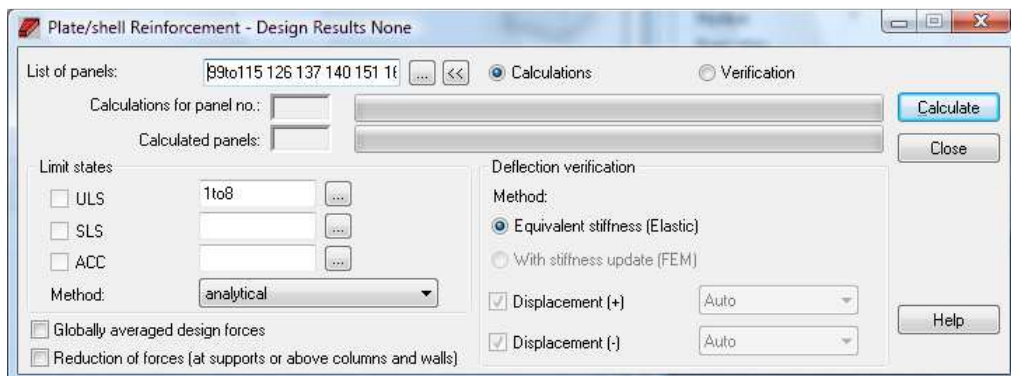
Båda kan hämta snittkrafter från FEM-beräkningarna som genomförts på strukturen. Modulen startas genom att användaren markerar de element som ska dimensioneras. Om inget element markerats, kan geometri och snittkrafter skrivas in manuellt vilket möjliggör fristående beräkningar.

Erforderlig armeringsarea (Required reinforcement)

Denna modul används för att få en översiktlig bild av mängden armering som krävs. Innan beräkningar på bjälklag eller väggar kan genomföras tilldelas elementen beräkningsparametrar, där exempelvis täcksjikt, armeringsdiametrar, stålqualität och maximal tillåten sprickstorlek anges.

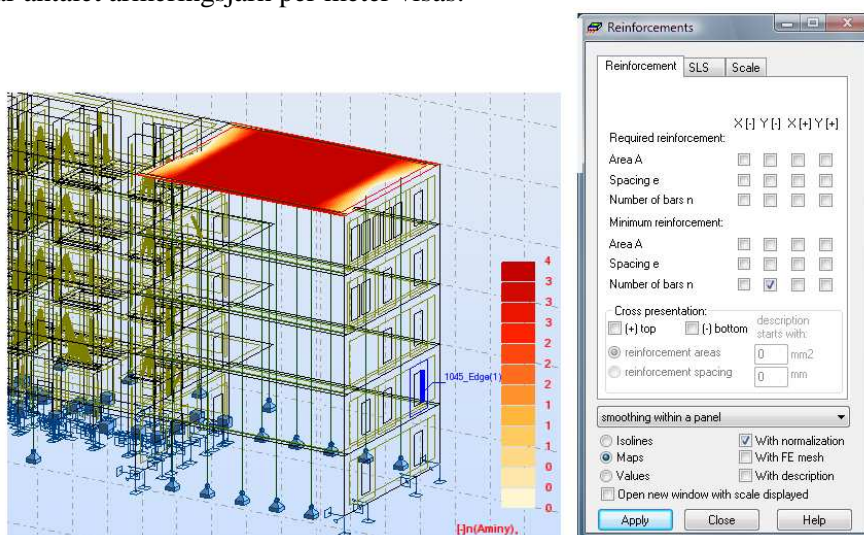
I beräkningsfönstret anges vilka element som ska beräknas, vilka lastkombinationer som ska beaktas, samt ett antal inställningar gällande vilken metod som ska användas (se Figur 42).

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag



Figur 42: Erforderlig armeringsarea – Beräkningar.

Efter att beräkningen genomförts kan resultatet presenteras exempelvis som i Figur 43, där antalet armeringsjärn per meter visas.

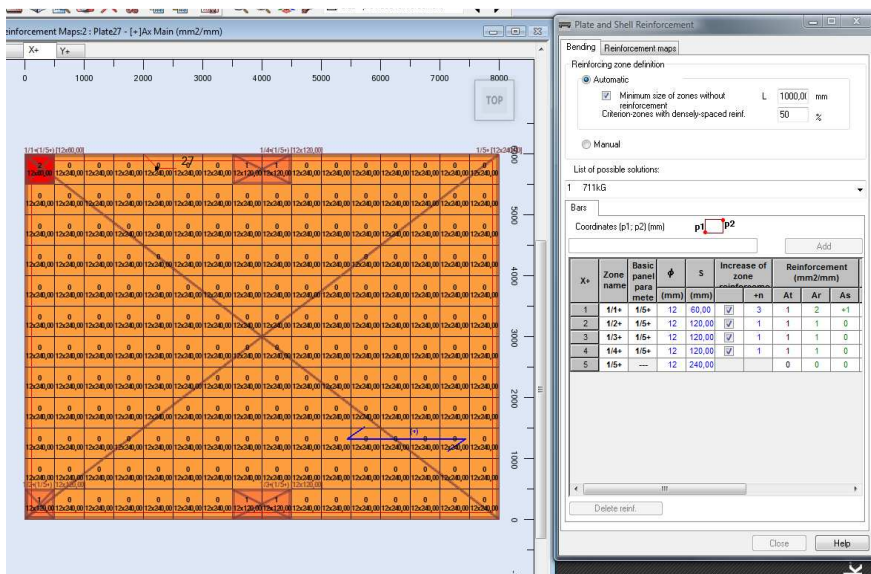


Figur 43: Erforderlig armeringsarea - Presentation av beräkningsresultat.

Faktisk armering (Provided reinforcement)

I denna modul definieras hur armeringen ska placeras. Ett bjälklag delas upp i ett rutnät där varje ruta kan armeras olika. Modulen kan automatiskt generera den armering som krävs i respektive ruta (se Figur 44). Det går även att ange armeringen manuellt eller ändra i det som automatiskt genererades. Detta görs i den tabell som visas till höger i Figur 44. Användaren ser här inlagd armeringsarea (A_r), erforderlig armeringsarea (A_t) samt skillnaden dem emellan (A_s).

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag



Figur 44: Faktisk armering – Automatisk generering.

Armeringen går tyvärr inte att återföra till Revit då funktionen ej är implementerad för bjälklag.

Dimensionering av armerade betongpelare/betongbalkar

I Robot finns två olika moduler för beräkning av armerade betongpelare och balkar.

- Erforderlig armeringsarea (Required reinforcement)
Används för att skapa en översiktlig uppfattning om vilka dimensioner som krävs hos de armerade betongelementen i byggnaden.
- Faktisk armering (Provided reinforcement)
Används för att i detalj specificera armeringen i betongelementen.

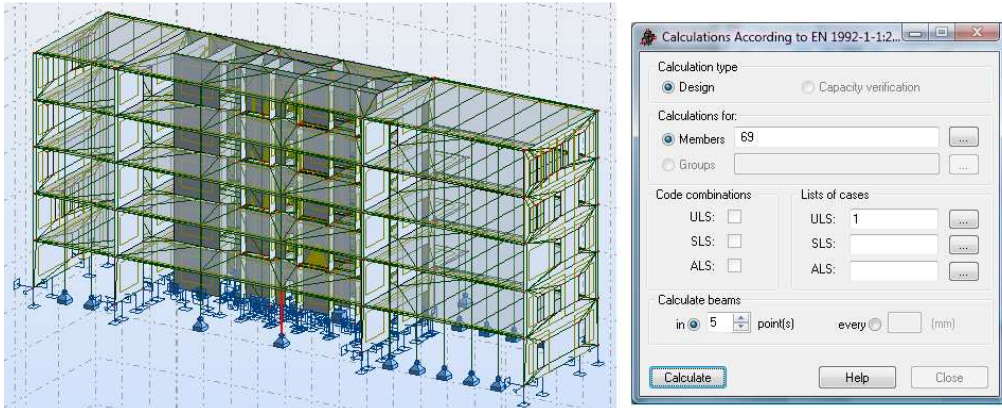
Båda kan hämta snittkrafter från FEM-beräkningarna som genomförts på strukturen, genom att användaren markerar de element som ska dimensioneras innan modulen startas. Om inget element markerats, kan geometri och snittkrafter skrivas in manuellt vilket möjliggör fristående beräkningar.

Erforderlig armeringsarea (Required reinforcement)

Denna modul beräknar armeringsbehovet hos pelare och balkar i byggnaden. I beräkningsfönstret anges vilka element som ska beräknas, vilka lastkombinationer som ska beaktas, samt ett antal inställningar gällande vilken metod som ska användas (se Figur 42).

Beräkningar kan ske på enskilda element, eller grupper av element som ska ges samma armering, exempelvis alla pelare på ett visst våningsplan. Innan beräkningar kan genomföras tilldelas elementen beräkningsparametrar, där exempelvis täcksjikt, armeringsdiametrar och stålqualität anges.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag



Figur 45: Erforderlig armeringsarea – Beräkningar.

Modulen beräknar sedan vilken mängd armering som krävs och varnar om dimensionerna hos elementen är för små för att rymma denna mängd. Resultatet presenteras i en tabell (se Figur 46).

The dialog box "Required Member Reinforcement" displays the following table:

Bar	Required reinforcement along b (mm ²)	Reinforcement along b - distribution	Required reinforcement along h (mm ²)	Reinforcement along h - distribution	Remarks	Transversal reinforcement - type/distribution
69	400	2f16	240	2f16	Calculations OK	2f6 11*320

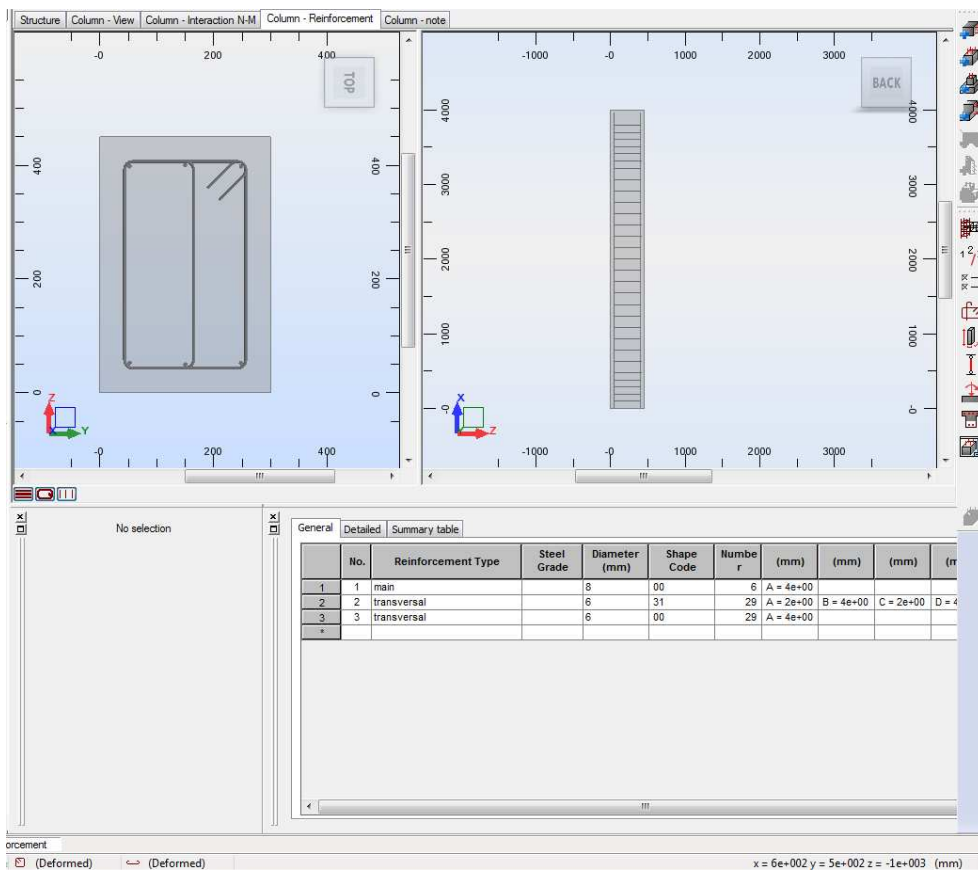
Navigation: < | > \ Beams / Beams - Info \ Columns / Columns - Info \ General /

Figur 46: Erforderlig armering - Presentation av beräkningsresultat.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

Faktisk armering (Provided reinforcement)

Denna modul används för att i detalj specificera hur ett element ska armeras (se Figur 47). Även här kan ett antal element slås ihop till en grupp som ges samma armering. Modulen kan automatiskt generera armering och det går att styra ett stort antal parametrar som styr hur modulen gör detta. Exempelvis armeringsdiametrar, enligt vilka mönster armeringen ska fördelas etc.



Figur 47: Faktisk armering av pelare/balkar.

Stålbalkar och stålpelare

Balkar och pelare modelleras båda i FEM med balkelement. Definitionsskillnaden mellan dem är annars att pelare i huvudsak är utsatta för tryckkraft medan balkar i huvudsak är utsatta för transversell last. Detta har betydelse vid de normbaserade beräkningarna som följer bestämmandet av snittkrafter med FEM. I Robot finns förinställda beräkningsinställningar för pelare respektive balk.

Följande instabilitetsfenomen kontrolleras för respektive:

Balk

- Vippning (lastens angreppspunkt, etc)
- Buckling (övre respektive undre flänsens inspänningar, etc)
- Böjvridknäckning

Pelare

- Böjknäckning (knäcklängd, infästningar, pelare med svaj)

Robot innehåller stöd för att automatiskt dimensionera stålpelare och balkar enligt Eurocode. Det går att verifiera valda dimensioner hos antingen enskilda element eller hos så kallade kodgrupper (Code group), bestående av flera element som ska ha samma dimensioner.

Vid den automatiska dimensioneringen finns möjlighet att välja vilket kriterium som ska optimeras efter, exempelvis vikt eller tvärsnittshöjd.

Beräkningarna sker vid ett bestämt antal punkter längs pelaren eller balken. Läget på dessa, samt antalet punkter kan ställas in.

Efter verifiering av enskilda element visas en tabell (Figur 48) där det framgår om elementen håller för lasterna i samtliga lastkombinationer eller ej.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
1 Column_1	✗ IPE 140	Steel	57.86	200.61	1.43	6 ULS /1/
2 Column_2	✗ IPE 140	Steel	57.86	200.61	1.40	6 ULS /2/
3 Column_3	✓ IPE 140	Steel	57.86	200.61	0.71	6 ULS /2/
4 Column_4	✗ IPE 140	Steel	57.86	200.61	1.41	6 ULS /1/
5 Column_5	✗ IPE 140	Steel	57.86	200.61	1.47	6 ULS /2/
7 Beam_7	✓ IPE 80	Steel	148.33	455.07	0.14	6 ULS /1/
8 Beam_8	✓ IPE 80	Steel	148.33	455.07	0.11	6 ULS /2/
9 Beam_9	✓ IPE 80	Steel	148.33	455.07	0.13	6 ULS /1/
10 Beam_10	✓ IPE 80	Steel	148.33	455.07	0.14	6 ULS /2/

Figur 48: Dimensionering av stålelement i Robot.

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag

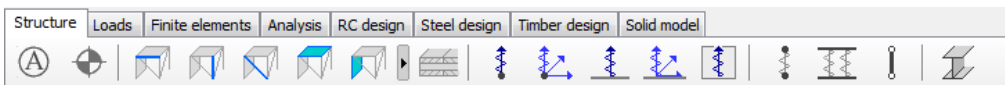
Efter en beräkning är det möjligt att med en enkel knapptryckning uppdatera modellen med det tvärsnitt som optimerats för aktuella belastningsfall. En ändring av tvärsnittet hos en pelare ändrar dess och hela konstruktionens styvhet. En ny FEM-beräkning bör alltså genomföras för att uppdatera snittkrafterna. Genom denna iterativa process verifieras strukturens hållfasthet.

5.6 Analys och dimensionering i FEM Design - 3D Structure

I denna rapport görs ingen grundlig utvärdering av analys och dimensioneringsmöjligheterna i 3D Structure. Detta eftersom NCC Teknik redan använder programvaran i sitt dagliga arbete och således har goda kunskaper om dess funktioner. För läsare som inte har någon tidigare erfarenhet av 3D Structure följer nedan en kortfattad presentation av analys- och dimensioneringsmöjligheterna i programvaran.

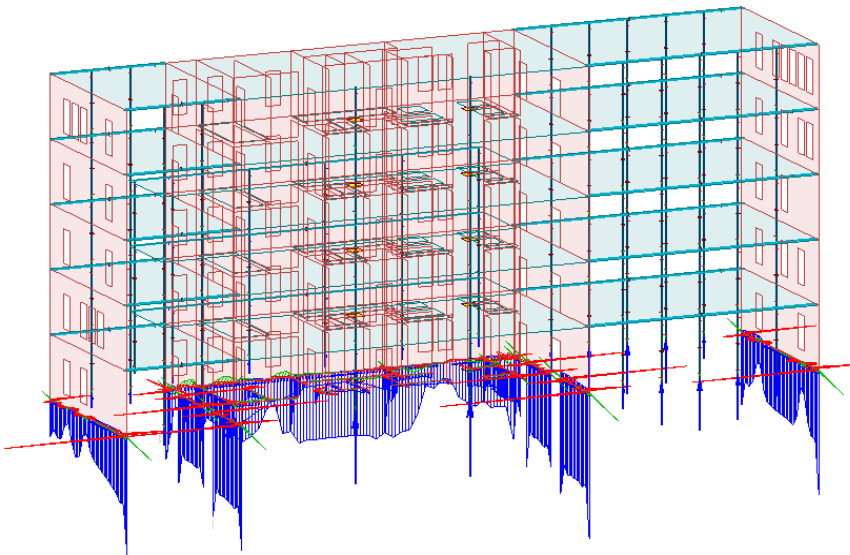
3D Structure 9.0 tillhandahåller statiska, dynamiska (egenfrekvensanalys), stabilitets och seismiska FE-analyser. Programvaran har inbyggda normbaserade dimensioneringsmoduler för betong-, stål- och träelement, till vilka analysresultat kan överföras. Modulerna har stöd för dimensionering enligt Eurocode med nationella anpassningar för ett antal länder, däribland Sverige.

Användargränssnittet är uppbyggt runt flikar i ovankant som generellt kan sägas ligga ordnade efter ett normalt arbetsflöde, från vänster till höger (se Figur 49).



Figur 49: Användargränssnitt 3D Structure.

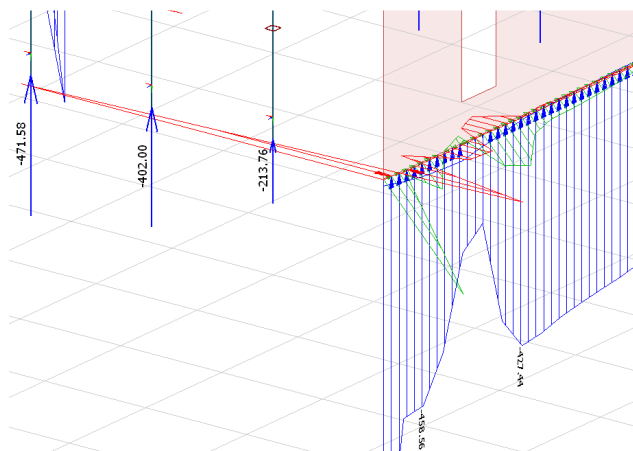
Resultaten av analysen kan presenteras på olika sätt. Reaktionskrafter presenteras med pilar för punktupplag och diagram för väggelement (se Figur 50).



Figur 50: Upplagskrafter i 3D Structure.

Numeriska värden för reaktionskrafterna kan placeras ut genom att klicka på ställen i modellen som bedöms som intressanta (se Figur 51).

5. Utvärdering av dimensionering med Revitmodell som underlag



Figur 51: Numeriska värden vid presentation av upplagskrafter i 3D Structure.

6. Slutsats och diskussion

I detta kapitel redogörs författarnas slutsatser kring hur konstruktören och projekteringsens arbete ändras vid en BIM-process, samt vilka hinder processförändringen måste övervinna. Vidare ges ett förslag till hur NCC Teknik skall förhålla sig till K-projektering med BIM. Förslaget bygger på författarnas slutsatser om BIM-processen samt de i rapporten utvärderade programvarorna.

6.1 Om författarnas syn på BIM i K-projektering

BIM är ett flitigt använt modeord i byggbranschen, där ett projekt ofta kallas för ett BIM-projekt om en objektorienterad 3D-modell av byggnaden tas fram. I början av examensarbetet delade vi denna syn på BIM, som varken mer eller mindre än ett modellformat. Under arbetets gång, när möjligheterna med BIM klargjordes, kom sättet att se på BIM att vidgas. Idag ser vi på BIM som, förutom en objektorienterad 3D-modell, en digital informationsplattform, där den information som behövs i ett projekt skall finnas lagrad och vara tillgänglig för samtliga projektmedlemmar. Informationen skall vara öppen så att den står fritt att användas i programvaror för tillämpningar i byggprocessens alla skeden. Begreppet BIM innefattar, för oss, denna informationsplattform och sättet på vilken den används, upprättas och förvaltas. BIM är också ett sätt att dokumentera branschens, eller ett företags, erfarenheter och kunskap genom att modelleringstekniken möjliggör för användarna att skapa objektbibliotek.

I en ideal BIM-process används *en* modell för att lagra all information. Detta tillvägagångssätt anser vi inte vara praktiskt genomförbart med tanke på branschens uppbyggnad i meningen att olika aktörer ansvarar för olika aspekter av byggnaden. Någon måste ansvara för modellen som helhet, vilket kan bli en övermäktig uppgift då BIM-modellen kan innehålla stora mängder information. Förfarandet med att använda en gemensam modell är dessutom svårt att tillämpa med objektstrukturen i Revit, där arkitekt och konstruktör använder olika typer av objekt. Detta visade sig i försöken med att göra en arkitektmodell beräkningsbar (se kap. 5.2). A-modellen var från början icke-kontinuerlig vilket ledde till att modellen till stora delar fick göras om. Arkitekten använde dessutom objekt utan materialegenskaper och strukturmekaniska kopplingar. När modellen bedömdes beräkningsbar var arkitektens objekt ersatta och vissa delar av geometrin var ändrad. Detta innebar att delar av arkitektens information (t.ex. om golvbeläggning) försvann.

Instället för att arbeta med en disciplinöverskridande modell, där objekten innehåller information för att tillgodose samtliga projektörers behov fann vi att information måste delas upp i smart kopplade delmängder. Exempel:

- Konstruktören behöver arkitektens formgivning för att placera bärande element men inte köksuppställningar och ytskikt.

- Arkitekten behöver stommens geometri, men inte betongkvalitet och armeringsinnehåll.

Sättet med att partitionera informationen på detta sätt skiljer sig i princip inte från sättet att arbeta i 2D-CAD-processen. Det finns dock en väsentlig skillnad i BIM-processen, koordinationen mellan projektörernas delmängder görs i 3D vilket innebär att risken för misstolkningar minimeras.

Ett exempel på en mer komplex situation följer: I K-projektering kan samma aspekt av byggnaden förädlas av olika projekteringsaktörer, vilket exempelvis blir aktuellt då en strukturell BIM-modell levereras som systemunderlag i ett bygghandlingsskede. Det är klart att modellen skall användas i en så stor grad som möjligt då det förmodligen ligger ett stort arbete bakom upprättandet av den, men vem bär ansvaret för modellen om någonting går fel? Ett äkta BIM-arbetsflöde kräver därför helt nya samarbets- och ansvarsformer. I ett första steg mot en partitionerad projektering enligt BIM-processen kommer förmodligen en ny modell byggas i varje skede. Kanske kommer ett anbudspris på bygghandlingsframtagande lämnas efter en uppskattning på hur mycket tilltro som kan tillägnas systemunderlaget och i vilken grad företaget kan använda den tidigare modellen. De första K-projekteringarna helt enligt BIM-processen tror vi förutsätter att ett och samma företag ansvarar för hela projekteringsprocessen, från framtagandet av stomkoncept till färdiga bygghandlingar.

6.2 Om branschstandarder för BIM

I K-projektering av en byggnad kan projekteringsuppdraget delas mellan olika företag. Denna uppdelning kan bero på att projekteringen upphandlas i olika stadier, exempelvis inför ett systemhandlingsskede eller inför ett bygghandlingsskede. Liknelsen med att lämna över projektet likt en stafettpinne är talande. Projekteringen kan också delas upp mellan företag inom ett skede, vilket kan bero på att företagen behöver förena sina resurser eller sin kunskap för att ro projektet i hamn.

Författarna tror och hoppas på att BIM kommer att bli det dominerande sättet att arbeta i en partitionerad projektering, eftersom BIM innebär en gemensam kunskapsplattform som kan delas mellan samtliga projektmedlemmar, vilket medför att information inte försvinner i överlämnandet av ett projekt. För att den äkta BIM-processen skall bli en realitet är det av yttersta vikt att standardiserade objektfamiljer och filformat fastslås och används, eftersom företag (eller personer inom ett företag) måste ges möjlighet att använda olika programvaror.

Inom den fasta industrin har företagen byggt upp ett fungerande förhållningssätt till objektorienterad modellering kopplat till analysverktyg. Detta beror på att företagen själva lagt resurser på att bygga upp en företagsstandard till vilken mjukvaruutvecklare anpassat sig. Byggbranschen däremot består av många mindre aktörer där konstellationerna dem emellan och arbetsformerna varierar från projekt till projekt. För att nå ett standardiserat filformat är därför byggbranschen beroende av bransch-

organisationer, exempelvis buildingSMART (som står bakom IFC-formatet) eller gemensamt enas om en branschstandard (jämför BSAB i Sverige).

Motsatsen till ett standardiserat och öppet filformat, ett proprietärt filformat, ser författarna som ett stort hinder för en äkta BIM-process. Proprietära filformat innebär att mjukvarutillverkarna måste enas sinsemellan om kompatibilitet mellan sina respektive mjukvaror. I värsta fall innebär användandet av proprietära filformat att BIM-processen blir knuten till ett visst BIM-verktyg som projektdeltagarna måste använda.

Ett införande av ett starkt och vida accepterat standardiserat filformat och objektfamiljer innebär att analysverktyg kan användas till valfri BIM-programvara. Ett proprietärt filformat innebär att analysverktyget måste anpassas till en specifik BIM-programvara. I en BIM-process innebär det proprietära förhållningssättet att analysverktyget måste väljas efter vilka filformat det kan läsa, inte vilka analyser de kan utföra, hur väl de utför dessa eller efter vilken kunskap företaget har i att använda analysverktyget.

6.3 Autodesk Robot i en BIM-process med Revit

Autodesk Robot Structural Analysis 2011 är enligt Autodesk väl synkroniserat med Autodesk Revit Structure. Detta påstående tycker vi stämmer i den meningen att verktygen för att överföra modeller mellan programmen är framtagna. Författarna tycker dock inte att de fungerar tillfredställande.

I försöken visade det sig att tvärsnitt överfördes korrekt men inte materialegenskaper. Materialegenskaper måste därför alltid kontrolleras i Robot. Koordinatsystem överfördes felaktigt mellan Revit och Robot, vilket fick konsekvensen att strukturelement definierade i Robot hamnade på fel koordinater när modellen återfördes till Revit. Felet konfirmerades av Autodesk.

I försöken upptäcktes en allvarlig bugg, vilken bekräftades genom kontakt med Autodesk. Bjälklag upplagda på balkar tolkas som okopplade efter att Revitmodellen exporterats till Robot. Problemet fick lösas genom att modellera dessa delar av strukturen i Robots pre-processor (med felaktig återföring till Revit som följd). Denna bugg är, enligt oss, mycket allvarlig eftersom det inte är ovanligt att bjälklagsdimensionering genomförs av bjälklagstillverkaren som då kan förutsätta att bjälklaget är upplagt längs sina ränder. Vid användandet av Revit/Robot *måste* användaren ha denna bugg i åtanke.

Dessa allvarliga brister stör flytet i arbetet eftersom modellen måste kontrolleras och korrigeras vid överföring mellan programmen. Den upptäckta buggen medför att vi upplever en stor osäkerhet på hur Robot tolkar Revitmodellen. Frågan vi ställer oss är: finns det fler fel som vi inte har upptäckt?

Dimensioneringsmodulerna i Robot har stöd för Eurocode. I de fall svenska anpassningar saknas måste användaren själv definiera de svenska normparametrarna. Detta måste göras i varje nytt projekt eftersom det inte går att spara parameterinställningarna. Modulerna är mycket kompetenta i meningen att de tillåter användaren att definiera många parametrar samt att de presenterar resultaten mycket ingående. Modulernas gränssnitt gör dem dock krångliga och ologiska att använda, det är helt enkelt lite svårt att få grepp på vad som händer.

Autodesk Robot saknar svensk support.

6.4 StruSoft 3D Structure i en BIM-process med Revit

3D Structure är inte tillämpligt i en BIM-process med Revit ännu, då länken mellan programmen bara går åt ett håll. En tvåvägslänk är dock under utveckling.

Material och tvärsnitt måste manuellt översättas från Revit till 3D Structure. Tillvägagångssättet är lite omständligt då användaren manuellt måste skriva in hur material och tvärsnitt skall översättas. Det leder dock till att användaren får en god kontroll över hur Revitmodellen översätts till en 3D Structure-modell.

3D Structure är fullständigt anpassat till svenska normer och har svensk support.

Dimensioneringsmodulerna är inte utvärderade i detta examensarbete. Det ska, enligt StruSoft, vara möjligt att inom 3D Structure dimensionera betong-, stål- och träelement utan manuell överföring av analysresultat.

6.5 Projekt Bjerredsparken

I fallstudien av K-projekteringen av Bjerredsparken fann vi att NCC Teknik arbetar med BIM enligt en traditionell 2D-CAD-process, där skillnaden är att 2D-CAD-verktyget har ersatts av ett BIM-verktyg. Konstruktören började med att bygga analytiska modeller i en FEM-programvara, varpå elementens snittkrafter kunde beräknas. Snittkrafterna användes sedan för att dimensionera byggnadens strukturelement. Dimensioneringsresultaten kommunicerades till en projektör, medelst dialog, en skiss eller en CAD-fil. Projektören upprättar, på basis av konstruktörens information, en BIM-modell.

Följande problem identifierades:

- CAD-underlaget levererades av arkitekten i 2D, vilket ställer höga krav på konstruktören då arkitektens formgivning skall tolkas. Detta leder också till att K-projekteringen inte kan samordnas med A-projekteringen i 3D.

- CAD-underlaget (arkitektens modell) ledde till att FEM-modellen blev beräkningssineffektiv i meningen att mycket små element genererades. Följden blev att CAD-underlaget fick justeras manuellt.
- Analysverktyget och dimensioneringsprogrammen utbytte inte data. Snittkrafter fick utläsas manuellt, förenklas och föras in i dimensioneringsprogramvaran. Detta ledde också till att FEM-modellen inte uppdaterades med de reviderade styvheter vid ändrade tvärsnitt.
- Projektören tolkade konstruktörens resultat och modellerar dem i ett BIM-verktyg, vilket kan vara en källa till missförstånd.

Sättet NCC Teknik arbetar med BIM idag utnyttjar inte potentialen med BIM fullt ut. De nyttoeffekter som uppstår i dagsläget kommer först sent i processen. Dessa nyttoeffekter består främst av BIM-verktygens förutsättningar för en effektiv samordning av projektörernas aspektmodeller samt verktygens goda modellerings-funktionalitet och dess effektiva ritningsframställande.

I en BIM-process skulle alla ovanstående problem undvikas:

- Projekteringsunderlag levereras i form av en BIM-modell vilket underlättar för att förstå arkitektens intentioner. BIM-processen möjliggör en noggrann jämförelse mellan arkitektens och konstruktörens aspektmodeller.
- I BIM-verktyg kan byggnadens analytiska representation justeras för att erhålla en kontinuerlig och beräkningseffektiv modell med hög validitet. I Revit görs detta på ett mycket användarvänligt sätt.
- Analys och dimensioneringsverktyg kan kommunicera. Konstruktören slipper manuella avläsningar och förenklingar, dimensioneringens validitet ökar. Iterationen mellan att beräkna styvheter i dimensioneringsprogram och införa dem i beräkningsmodellen, med syfte att verifiera tvärsnitten i sitt strukturella sammanhang, görs utan att konstruktören måste uppdatera FEM-modellen manuellt.
- Dimensioneringsresultaten dokumenteras automatiskt i BIM-verktyget. Detta förfarande leder till att den färdiga BIM-modellen har en hög giltighet gentemot analys och dimensioneringsresultaten.

6.6 Förslag och rekommendation till NCC Teknik

NCC Teknik:s huvudsakliga kund är NCC Construction, vilka satsar på BIM under arbetsnamnet Virtuellt Byggande. NCC Construction har insett de stora fördelar som BIM medför i produktionsskedet gällande kollisionskontroller, exaktare kalkyler, och visualiseringar. En BIM-modell skapar ett mervärde i projektet. Med denna anledning är det rimligt att anta att NCC Teknik kommer att få en betydande mängd projekteringsuppdrag där slutprodukten skall vara en BIM-modell. Detta rättfärdigar att NCC Teknik bör utarbeta ett arbetssätt där BIM-modellens projekteringsfördelar utnyttjas till fullo.

I detta examensarbete presenteras en kvalitativ BIM-process som visar processförbättringar i hela K-projekteringen. Processen innebär att BIM-modellen byggs upp tidigt i projekteringskedet, till skillnad från dagens tillvägagångssätt, då BIM-modellen byggs först då alla förutsättningar är klarlagda. Vidare har en kvantitativ processförbättring inhämtats från den studerade litteraturen. Förbättringen berör endast ritningsframställandet, vilket härrör från BIM-verktygens effektiva modelleringsteknik relativt traditionell 2D-CAD. Kvantitativa mätningar på analys- och dimensioneringsarbetet har inte hittats i den studerade litteraturen.

Vi tror, med ett ödmjukt beaktande av våra bristfälliga erfarenheter av projektering, att BIM-processen leder till en effektivare och bättre K-projektering. Dessa förbättringar består av:

- Konstruktören får en bättre inblick i sin struktur när den modelleras fysiskt och analytisk i BIM-verktyget.
- Effektivare modellering, med möjlighet till samarbete, i Revit Structure gentemot de utvärderade FEM-programvarorna.
- Det räcker med att en stommodell arbetas fram och förädlas eftersom ritnings- och analysmodell är samma modell.
- Konstruktören kan på ett effektivt sätt förmedla och jämföra sin struktur med övriga projektörer redan i ett tidigt skede.
- BIM-processen leder till att minimera arbetsam manuell dataöverföring mellan olika programvaror.
- Den analytiska modellen får en hög validitet.
- Dimensioneringsresultat överförs automatiskt till den fysiska modellen, vilket per automatik håller den fysiska modellen uppdaterad.

Under examensarbetets gång identifierades följande hinder mot en fullt fungerande K-projektering enligt BIM-processen:

- Ingen kombination (Revit/Robot, Revit/3D Structure) av de utvärderade programvarorna satisfierar, enligt oss, interoperabiliteten som krävs för en fullständig BIM-process.
- Avsaknaden av fungerande, vida accepterade, standardiserade filformat låser konstruktören till att använda en viss programvara.
- Strukturelement som inte är standardobjekt i både BIM-verktyget och analysverktyget och som är svåra att FEM-modellera. Exempel: HD/F-bjälklag, samverkanspelare och samverkanbalkar.
- Begränsningar i vad som analyseras och dimensioneras i analysverktyget leder till att konstruktören måste använda sig av tredjeparts programvara med manuell dataöverföring som följd. Exempel: förband, fundament, korrugerad plåt.

Trots ovanstående tillkortakommanden anser vi att NCC Teknik bör börja använda Revit Structure för att skapa beräkningsbara analytiska modeller. Anledningen är att

många av ovan nämnda fördelar uppnås med dagens förutsättningar samt att mjukvarorna är under ständig utveckling för att tillmötesgå full BIM-integration. På detta sätt kan NCC Teknik redan idag förbättra sin arbetsprocess och vara redo för framtida utveckling.

Det analys- och dimensioneringsverktyg som, enligt oss, är att föredra av de utvärderade programvarorna är StruSoft FEM-Design 3D Structure. Trots att det inte finns en färdigutvecklad tvåvägslänk till Revit är fördelarna övervägande då 3D Structure är fullt anpassat till svenska normer, har svensk support samt erbjuder svensk utbildning. 3D Structure tillhandahåller även en länkning till TEKLA, vilken inte utvärderats i denna rapport. Konstruktörerna på NCC Teknik är insatta i 3D Structure varför utbildningsbehovet är litet. Autodesk Robot är en fullt duglig FEM-programvara för byggbranschens behov, men den allvarliga bugg som upptäcktes och de fel som uppstår vid modellimport från Revit gör programvaran mindre lämplig för integration med Revit i dagsläget. Robot används inte sedan tidigare på NCC Teknik i någon större omfattning, och då programmet kräver en lång inkörningsperiod är utbildningsbehovet stort.

6.7 Förslag till kommande examensarbete

Att säga att en programvara stödjer IFC är inte tillräckligt för att avgöra hur väl det integrerar med andra programvaror som stöder IFC. För att import och export ska fungera som avsett måste de ingående objektens egenskaper (IFC-egenskaper) specificeras på ett sätt som stöds i de båda programmen. Ett framtida examensarbete skulle kunna behandla dels hur IFC-export/import ska hanteras, men även behandla programvaror skrivna för att fungera som en IFC-länk mellan programvaror.

Energianalysprogram (EnergyPlus, IDA Energi och Klimat, m.fl.) som stöder BIM-modellimport i IFC-format finns idag på marknaden. Ett framtida examensarbete skulle kunna utvärdera funktionalitet och vinster i att använda dessa programvaror i projekteringsprocessen.

Litteraturförteckning

1. **Eastman, C., Sacks, R., Liston, K.** *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey : John Wiley & Sons, 2008.
2. **Andersson, G.** *BIM i byggsektorn*. VVS-forum : nr2, 2010.
3. **NCC.** ncc.se. *Virtuellt byggande*. [Online] den 23 oktober 2010. <http://www.ncc.se/sv/OM-NCC/Sa-arbetar-vi/Virtuellt-Byggande/>.
4. **Jongeling, R.** *BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt - En jämförelse mellan dagens byggprocesser baserade på 2D-CAD och tillämpningar av BIM*. Luleå : tekniska universitet, Institutionen för samhällsbyggnad, Avdelningen för Byggproduktion, 2008.
5. **Autodesk Inc.** Revit Structure Users's Guide. [Online] den 20 Februari 2010. http://images.autodesk.com/adsk/files/revit_structure_2011_user_guide_en.pdf.
6. **Campbell, D.A.** Architecture Week. *Modeling Rules*. [Online] den 25 november 2010. http://www.architectureweek.com/2006/1011/tools_1-1.html.
7. **Saabye Ottosen, N., Petersson, H.** *Introduction to the finite element method*. Harlow : Prentice Hall, 1992.
8. **Isaksson, T., Mårtensson, A., Thelandersson, S.** *Byggkonstruktion*. Lund : Studentlitteratur, 2005.
9. **Persson, E. (erik.persson@strusoft.com).** *VB: Ex-jobb export/import Revit*. E-mail till John Argerus (john.argerus@ncc.se), 2011-12-22.
10. **IAI.** IFC. *IFC-Developeps*. [Online] den 10 januari 2011. <http://www.ifcwiki.org/index.php/IFC-Developers>.
11. **Stintzing, R.** *Handbok - Leda projektering i byggprocessen*. Stockholm : Formas, 2005.
12. **Dursun, J.** *BIM-projektering med Autodesk Revit*. Luleå : Luleå tekniska universitet, Institutionen för Samhällsbyggnad, Avdelningen för Byggkonstruktion , 2010.
13. **Sacks, R., Barak, R.** *Research Report #1005156 - 3D Engineering Productivity*. Technion - Israel Institute of Technology : Faculty of Civil and Environmental Engineering, 2005.

14. **Jansson, J., Moshfegh, R., Ottosson, P.** *Är Finita Element simulering av tillverkningsprocesser något för ert företag? Swerea IVF-skrift 08804.* Mölndal : Swerea IVF AB, 2008.

15. **Persson, E. MSc.** *Technical sales and support, Structural Design Software in Europe AB .* (telefonsamtal 2011-01-14).